

**LES SOLS HYDROMORPHES
A PSEUDO-GLEY LITHOMORPHES
DU NORD CAMEROUN**



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE ORSTOM DE YAOUNDE



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE - MER

--:--

LES SOLS HYDROMORPHES A PSEUDO - GLEY
LITHOMORPHES DU NORD - CAMEROUN

par
D. MARTIN

Juillet 1968

LES SOLS HYDROMORPHES A PSEUDO-GLEY
LITHOMORPHES DU NORD-CAMEROUN

par
D. MARTIN

1 - Introduction.

2 - Les facteurs de la pédogénèse.

2.1 - Localisation.

2.2 - Climatologie.

2.3 - Géologie.

2.4 - Géomorphologie et topographie.

3 - Etude des sols.

3.1 - Etude de profils.

3.1.1 - Profil POL 11.

3.1.2 - Profil POL 18.

3.1.3 - Profil RBA 6.

3.1.4 - Profil BIB 5.

3.2 - Caractéristiques générales.

3.2.1 - Caractéristiques morphologiques et physiques.

3.2.2 - Caractéristiques chimiques.

3.2.3 - Caractéristiques minéralogiques.

3.3 - Essai d'explication de la pédogénèse et classification.

3.3.1 - Principaux critères de caractérisation.

3.3.2 - Principaux processus de pédogénèse.

3.3.3 - Corrélations avec d'autres sols.

3.3.4 - Place dans la classification.

4 - Etude de toposéquences.

4.1 - Toposéquence Tetté.

4.2 - Toposéquence Larki.

4.3 - Toposéquence Bibémi.

5 - Conclusion générale.

6 - Bibliographie.

I - INTRODUCTION.

Le Nord Cameroun offre entre les parallèles 8° et 10° N. un type de pédogénèse assez particulier. Malgré le drainage externe toujours assuré, l'hydromorphie est un processus pédogénétique très répandu et un type de sol très fréquent est un sol hydromorphe à pseudo-gley, que l'on peut qualifier de "lithomorphe" : en effet l'hydromorphie n'est pas due à la topographie mais à une forme d'altération particulière des roches métamorphiques et granitiques, où les minéraux 2/1 de type montmorillonite jouent un rôle important. De plus l'action de la faune du sol, en particulier des vers de terre, contribue à donner à ces sols une morphologie particulière et a sans doute un rôle dans leur pédogénèse.

Dans cet article, après avoir passé en revue les principaux facteurs de la pédogénèse de ces sols, on se propose d'en faire une étude aussi complète que possible avec les éléments disponibles : étude détaillée de profils typiques, caractéristiques générales de ces sols à partir de la vingtaine de profils analysés et essai de classification. Une dernière partie sera consacrée à l'étude de 3 toposéquences, ce qui nous permettra de situer ces sols hydromorphes dans le paysage et de voir les liens qui les rattachent à d'autres types de sols de la région, en particulier aux sols ferrugineux tropicaux, aux vertisols et aux sols halomorphes.

2 - LES FACTEURS DE LA PEDOGENESE.

2.1 - Localisation.

Les sols hydromorphes à pseudo-gley lithomorphes sont localisés essentiellement au sud du parallèle de Garoua, où ils forment un bloc important depuis l'ouest et sud-ouest de Poli jusqu'à l'est et nord-est de Rey-Bouba. On en trouve quelques taches isolées aux nord et au nord-ouest de Garoua, mais ils ont été étudiés dans cette région. Ils sont toujours associés à des roches métamorphiques ou granitiques et il n'en existe donc pas dans toute la zone de grès crétacé qui occupe la fosse de la Benoué.

2.2 - Climatologie.

Le climat de toute la zone où l'on trouve ces sols hydromorphes à pseudo-gley est typiquement soudanien : régime pluviométrique tropical, saison sèche de 5 à 6 mois, pluviométrie de 1000 à 1400 mm, températures élevées.

Nous avons ainsi pour Garoua les principales caractéristiques suivantes :

- pluviométrie : 1004 mm en 74 jours de pluies et 6 mois inférieurs à 50 mm;
- évaporation : 2380 mm dont 1690 mm pendant les 6 mois secs;
- insolation : 2776 heures avec minimum en août et maximum en décembre ;
- température : moyenne annuelle de 28° ; les maxima moyens mensuels sont observés de mars à mai et les minima en décembre et janvier ;
- humidité relative : minimum mensuel de 10 à 20 % pendant la saison sèche avec des minimums absolus inférieurs à 8%.

Si la pluviométrie doit être à peu près identique à celle de Garoua dans la zone située au sud des massifs montagneux des Mandara (Dourbey), elle augmente nettement au sud, bien que les deux postes pluviométriques de Poli et Tcholliré ne soient pas particulièrement représentatifs en raison de leur situation au milieu ou à proximité de massifs montagneux. Les caractéristiques pluviométriques de 3 postes sont les suivantes :

- . Rey-Bouba : 1095 mm en 70 jours de pluies et 6 mois inférieurs à 50 mm.
- . Tcholliré : 1330 mm avec 6 mois inférieurs à 50 mm.
- . Poli : 1420 mm en 84 j. de pluies et 5 mois inférieurs à 50mm.

Dans la plus grande partie de la zone des sols hydromorphes lithomorphes, la pluviométrie peut être considérée comme comprise entre 1000 et 1350 mm avec 6 mois inférieurs à 50 mm.

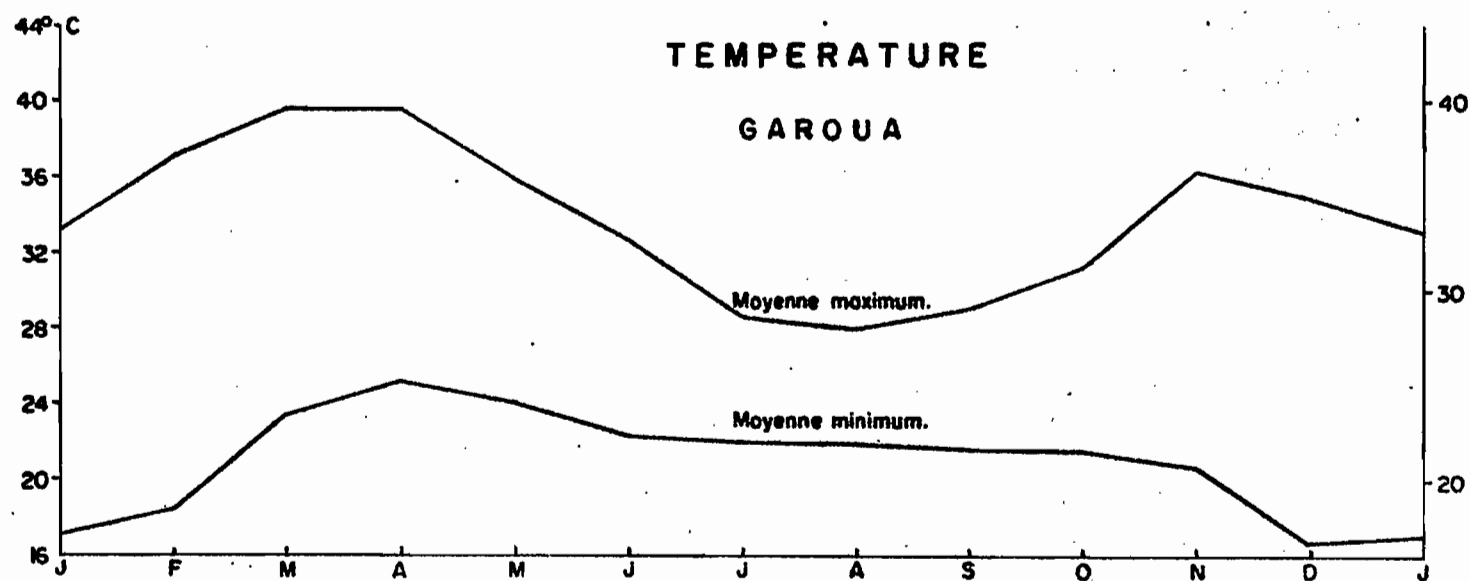
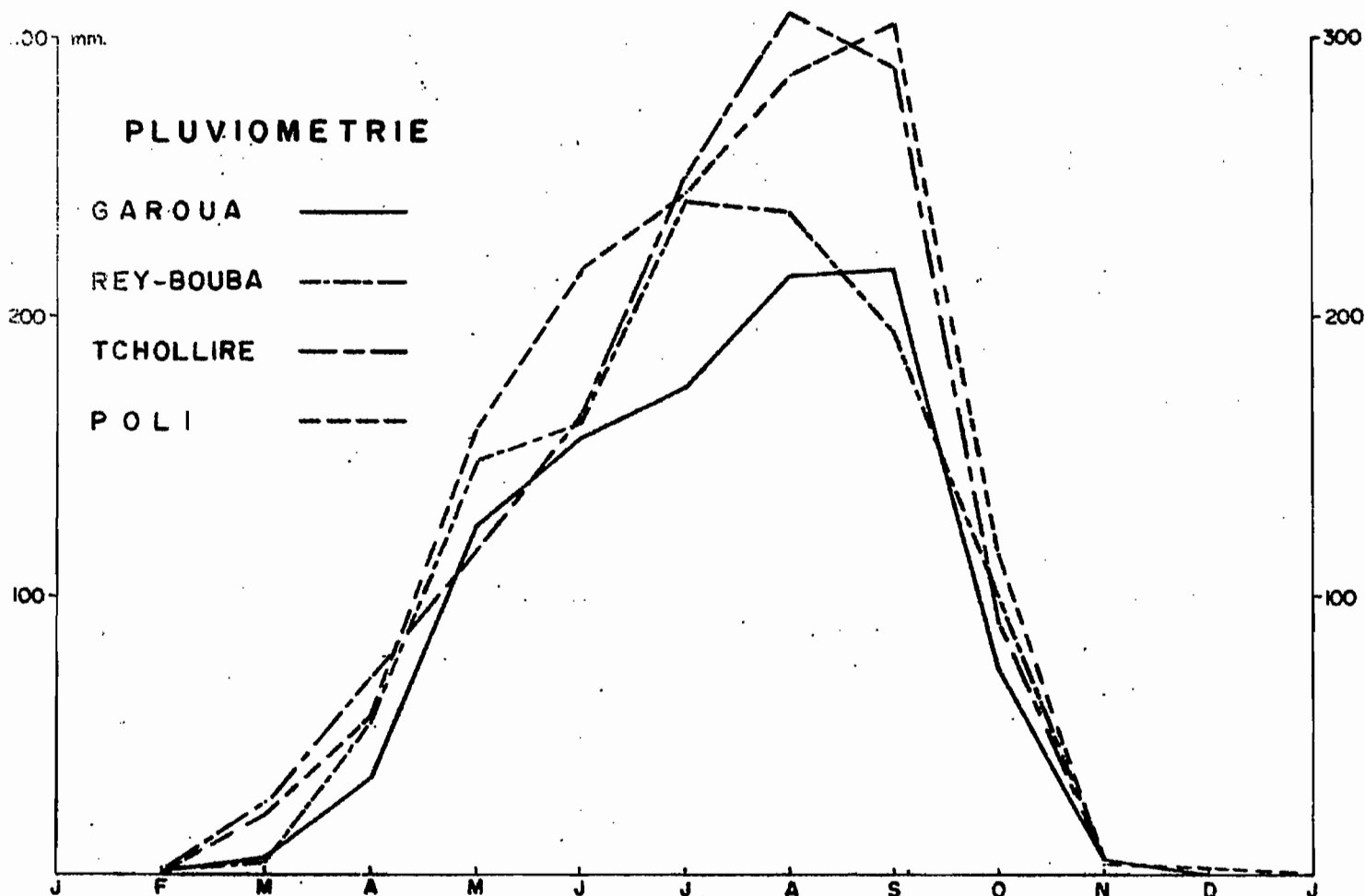


Figure 2
CLIMATOLOGIE

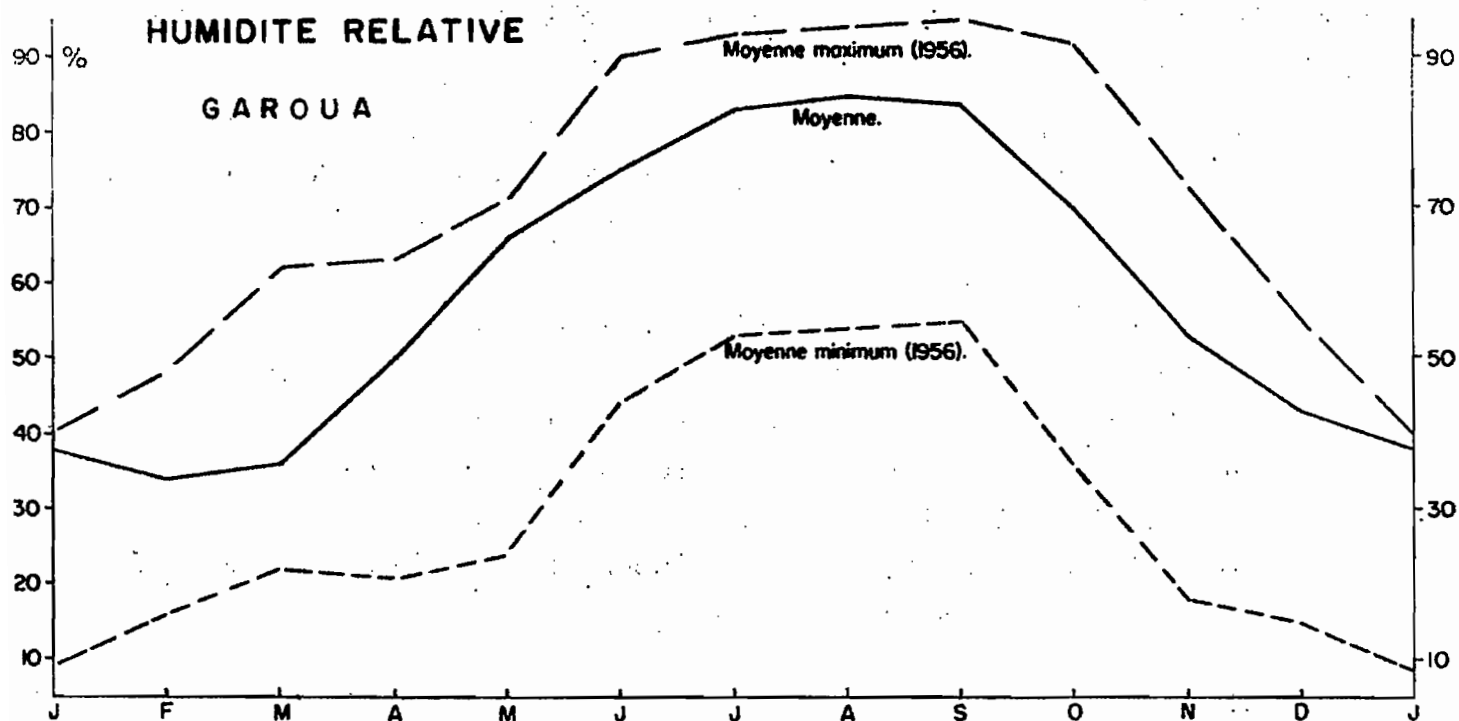
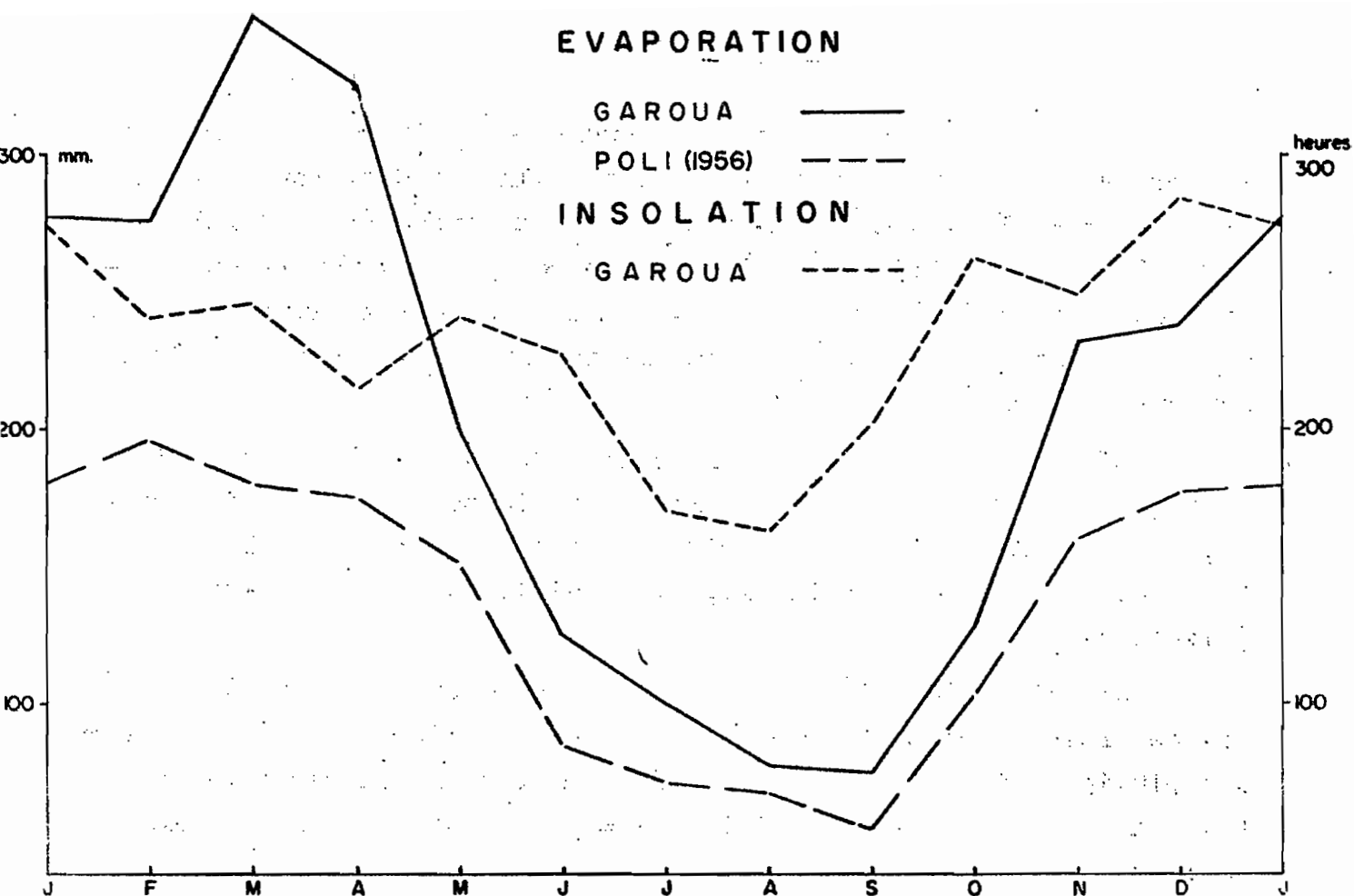


Figure 3

Pour la température nous disposons des chiffres de Garoua et de Poli (1956) : température moyenne annuelle de 28°1 pour Garoua et de 26°2 en 1956 pour Poli. L'altitude de Garoua (250 m) représente l'altitude minimum où l'on trouve ces sols hydromorphes, tandis que Poli (440 m) est un peu plus haut que leur altitude maximum: on peut considérer que la température moyenne de la zone doit être comprise entre 26°5 et 28°.

L'évaporation, qui est en moyenne de 2380 mm à Garoua, n'est plus que de 1600 mm en 1956 à Poli : dans la zone qui nous intéresse, on peut la considérer comprise entre 1800 et 2300 mm plus forte au nord et nord-est (Bibémi), plus faible au sud et sud-ouest (Fignolé).

L'indice d'aridité de de Martonne est compris entre 25 et 35. Le drainage calculé (Hénin-Aubert) est de l'ordre de 150 mm pour une pluviométrie de 1000 mm et de 300 mm pour une pluviométrie de 1300 mm en adoptant le coefficient $\alpha = 0,75$ pour des sols argilo-sableux.

Il faut retenir surtout de cette rapide étude le contraste entre les deux saisons très tranchées du climat tropical, qui entraîne les conséquences suivantes :

- pluviométrie concentrée pendant quelques mois de saison des pluies avec possibilités de lessivage et même d'engorgement selon les caractéristiques physiques des sols et des horizons du sol ;
- forte évaporation pendant la saison sèche entraînant le dessèchement plus ou moins complet du profil et la possibilité de remontée d'eau par évaporation ;
- arrêt de toute activité biologique et physico-chimique dans le sol à la fin de la saison sèche ;
- modifications brutales de l'économie de l'eau dans le sol aux changements de saison.

2.3 - Géologie.

Les sols hydromorphes à pseudo-gley n'ont été observés que sur les roches du socle, roches métamorphiques ou granitiques :

celles-ci peuvent être assez variées dans leur texture et leur structure, mais elles sont beaucoup plus homogènes quant à leur composition chimique. On a observé des sols hydromorphes aussi bien sur granites (granites discordants anciens, granites orientés) que sur roche métamorphique, mais plus souvent sur migmatite (anatexite, embréchite) que sur ectinite (gneiss, micaschiste).

Au point de vue chimique ce sont des roches leucocrates, caractérisées toujours par de faibles quantités de ferromagnésiens, mais contenant une bonne proportion de minéraux altérables en dehors du quartz : il semble que les feldspaths calciques ou calcosodiques soient dominants.

Il n'a pas été possible d'avoir d'analyses de roches. Il est en effet très difficile de se procurer la roche-mère réelle du sol que l'on observe : dans un profil on ne peut atteindre que la roche altérée, la roche saine pouvant être à plusieurs mètres de profondeur; en affleurement ou dans les rivières, on voit rarement de roche saine correspondant au faciès de roche altérée observée, mais le plus souvent une roche ayant résisté à l'altération et soit beaucoup plus mélanocrate (filon d'amphibolite) soit formé presque exclusivement de quartz et feldspath (microgranite, aplite).

2.4 - Géomorphologie et topographie.

La plupart des profils observés se situent entre 240 et 350m d'altitude, c'est-à-dire sur la surface récente qui résulte de l'invasion de la Benoué entre Adamaoua et Mandara (Segalen, 1967). Plus au sud et plus haute (350 à 450 m) la surface africaine II (fin tertiaire) est caractérisée par la présence d'une cuirasse ferrugineuse dont l'existence et la continuité est particulièrement nette à partir de l'altitude 400 m. On a même pu retrouver des restes de cette cuirasse dans la zone des sols hydromorphes : à Larki (325 m) certains profils de la chaîne de sols (voir par. 5.1) présentent entre les horizons A et B des blocs de cuirasse absolument étrangers au sol et qui doivent provenir de la destruction du niveau cuirassé de la surface africaine II.

La surface récente de la Bénoué, dans les zones granitiques et métamorphiques, est caractérisée par un aplanissement assez bon. Cependant, en raison de la faible perméabilité générale des sols, le réseau de drainage primaire et secondaire est rapidement enfoncé de 0,5 à 2 m avec affleurement de la roche altérée sur les flans du mayo et de roches dures dans le lit le plus souvent sableux ; l'alluvionnement, toujours très réduit (quelques mètres de largeur), ne commence que sur les mayos de plus de 5 à 8 m de large. Les profils des vallées peuvent être appelés en V évasée.

Les collines, interfluves étudiés entre deux axes de drainage, sont bien aplanies, mais les différences de niveau entre sommet et axe de drainage sont au minimum de 10-12 m et peuvent atteindre 20 à 25 m dans certaines zones : le drainage externe est donc toujours parfaitement assuré. Le sommet des collines est très aplani, à profil convexe, et on n'a jamais pu observer le passage à une nette concavité de la pente en bas de collines (voir schéma p.). Les pentes, très faibles en sommet de collines (souvent moins de 1 %) s'accroissent sur les flancs de la colline sans dépasser 4 à 5 % et restent le plus souvent de l'ordre de 2-3 %.

La forme régulière des collines, l'absence de rupture de pente ou de changement brusque de pente font penser à une action morphogénétique continue et régulière sans brusque changement de climat ou de niveau de base. L'érosion actuelle se fait essentiellement en nappe et le colluvionnement paraît limité ou n'a pu être mis en évidence : les matériaux mis en mouvement par l'érosion semblent être enlevés directement par le réseau de drainage pour alimenter les zones d'alluvionnement.

On peut considérer que cette surface récente, qui s'est mise en place après l'ablation du niveau cuirassé de la surface africaine II, supporte des sols qui ont dû commencer à évoluer depuis le début du quaternaire. Les variations climatiques de cette période ne semblent pas avoir été assez importantes ou assez longues pour avoir pu changer radicalement la pédogénèse ou tout au moins le type d'altération des roches. La surface n'a jamais été complètement aplanie et les sols ont toujours été soumis à l'érosion, qui

pouvait être plus ou moins intense selon les épisodes climatiques secs ou humides, parce que le réseau hydrographique s'est continuellement enfoncé empêchant l'accumulation de matériaux en bas des collines, et ils ont donc conservé un caractère de jeunesse relatif, ce qui permet de les considérer comme en équilibre avec le climat moyen du quaternaire dans la région.

3 - ETUDE DES SOLS.

3.1 - Etude de profils caractéristiques.

3.1.2 - Profil POL 11.

3.1.1.1 - Caractéristiques morphologiques (photo n° 1)

P O L 11.

Village de Tartesse à 15 km à l'ouest de Fignolé.

A mi-pente d'une colline moyennement accidentée. Pente 4 à 5 %.

Savane densément arborée défrichée pour cultures.

Roche-mère : roche granitique moyennement riche en ferromagnésien.

0 à 22 cm. Brun foncé (10 YR 3/3) à brun pâle (10 YR 6/3) sec; sable fin et grossier peu argileux; structure nuciforme fine

A1 très peu développée; peu dur à fragile; forte macroporosité par vers de terre et bonne microporosité; nombreuses racines de graminées et d'arbres ou arbustes dont la majorité se limite à cet horizon. Transition tranchée et régulière.

22 à 35 cm. Brun jaune foncé (10 YR 4/4) à brun jaune clair (10 YR 6/4) sec, très finement tacheté de rouille clair; sable grossier et fin argileux; structure polyédrique moyenne peu développée; dur à très dur; bonne microporosité; peu ou pas de racines. Transition distincte et régulière.

B1

35 à 72 cm. Bigarré par juxtaposition intime mais nettement visible de brun olive clair (2,5 Y 5/4) à brun gris clair (2,5 Y 6/2) sec et de brun jaune clair (2,5 Y 6/4) à jaune pâle (2,5 Y 7/4) sec, taches noires et rouilles bien délimitées pouvant ou non correspondre à une concrétion; argileux sable grossier; massif et peu structuré; dur à très dur, peu poreux; quelques concrétions noires. Transition distincte et régulière.

B21

72 à 95 cm. Couleur identique à B21 mais les plages de couleur différentes sont plus grandes et moins bien limitées; argilo-sableux; massif; très dur; peu poreux; concrétions noires

B22

et gaillons de moins de 0,5 cm.

95 cm.
BC

Transition graduelle et ondulée à la roche altérée par imbrication des deux horizons : texture argilo-sableuse et graveleuse; moins massif et dur que B22.

110 cm.

Roche altérée de couleur claire; peu de minéraux noirs; litage visible.

La roche saine n'est atteinte qu'à 4 à 5 m de profondeur; il s'agit d'un granite orienté, appelé aussi granite blanc, à faciès leucocrate dominant, les minéraux noirs formant des lits plus ou moins bien marqués et pouvant manquer totalement par place.

POL II

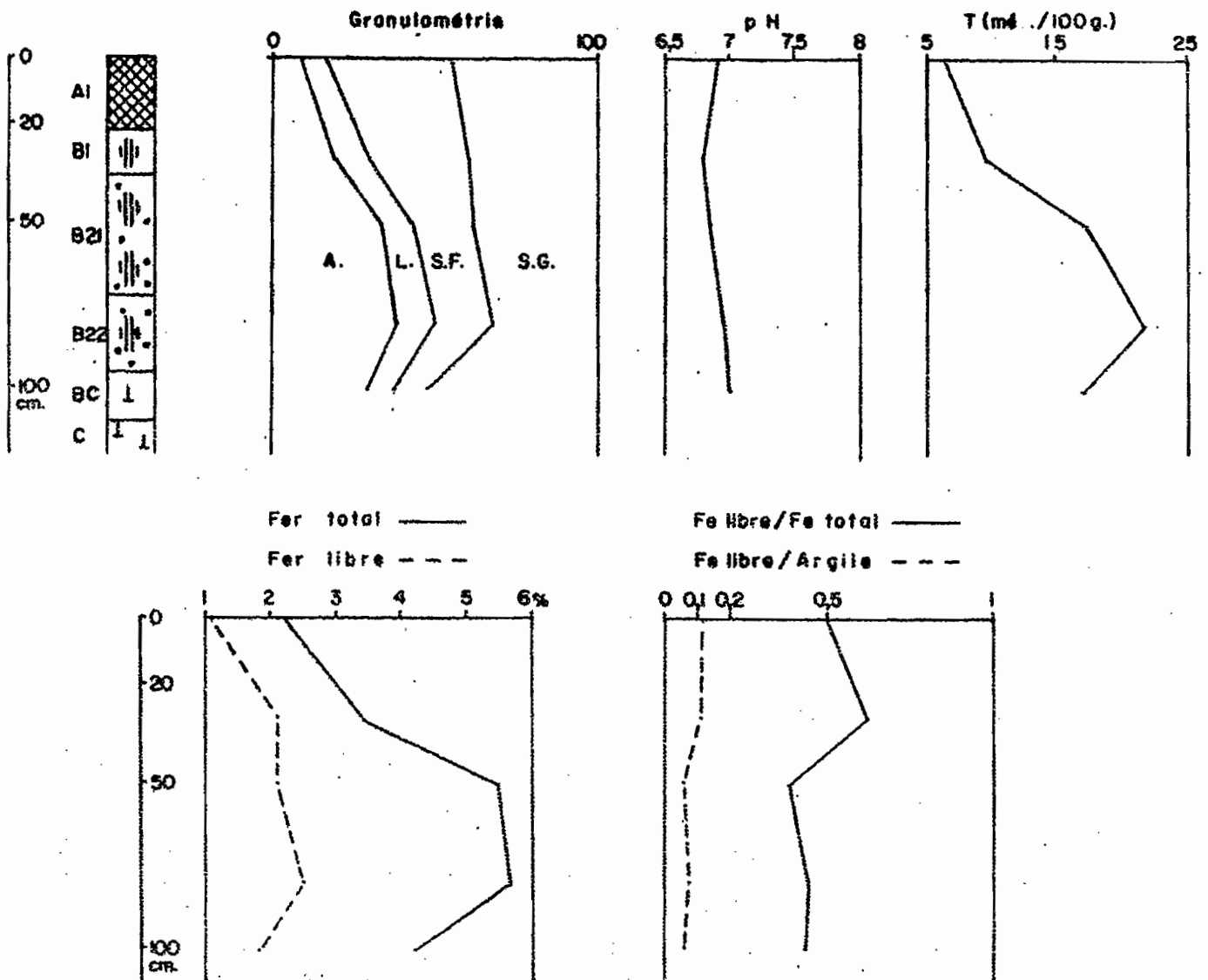


Figure 4

Profil P O L 11 - Résultats analytiques.

Echantillons	111	112	113	114	115
Profondeur cm.	0-15	25-35	45-55	80-90	95-105
GRANULOMETRIE %					
Argile	9,1	19,4	32,9	37,6	29,2
Limon	7,3	10,3	10,3	11,8	8,1
Sable fin	39	30	17,7	18,8	11,1
Sable grossier	43,3	41,2	40,7	33,6	53,2
Gravier	-	0,4	0,8	2,3	36,5
MATIERES ORGANIQUES ‰					
M.O. totale	10,8	6,9	4	4,5	-
Carbone	6,3	4	2,3	2,6	-
Azote	0,49	0,43	0,33	0,3	-
C / N	12,9	9,3	7	8,7	-
CATIONS ECHANGEABLES					
Meq./100 g.					
Calcium	3,6	6	10,9	13,5	10,1
Magnésium	1,9	1,5	5,2	6	4,4
Potassium	0,13	0,13	0,36	0,45	0,48
Sodium	0,08	0,02	0,08	0,08	0,08
Somme S.	5,7	7,65	16,5	20	15
Capacité d'échange T.	6,5	9,5	17,2	21,6	17
S / T	0,88	0,81	0,96	0,93	0,88
P H	6,9	6,8	6,85	6,95	7
BASES TOTALES					
meq./100					
Calcium	10,2	9	11	14,4	12,8
Magnésium	5,7	15,4	24,4	40,8	25
Potassium	1,6	4,1	4,5	5,6	5,1
Sodium	0,2	0,3	0,35	0,3	0,3
Phosphore ‰	0,18	0,09	0,06	0,14	0,06
Fer total %	2,2	3,4	5,5	5,7	4,2
Fer libre %	1,1	2,1	2,1	2,5	1,8
Fe libre/Fe total	0,5	0,62	0,38	0,44	0,43
Fe libre/Argile %	12	11	6	7	6

Ce profil est bien caractérisé morphologiquement par :

- un horizon A, nettement lessivé en argile, à structure peu développée et cohésion faible, sans trace d'hydromorphie ;
- un horizon B tranchant nettement par sa texture, sa structure et sa cohésion; nette hydromorphie par présence de pseudo-gley et de petites concrétions noires ;
- un horizon C d'altération de la roche, d'abord remanié, puis à structure conservé.

Les caractéristiques morphologiques sont suffisantes pour classer ce sol comme sol hydromorphe minéral à pseudo-gley : la présence de pseudo-gley le place dans le groupe à pseudo-gley. Seule l'absence de tout indice d'hydromorphie dans l'horizon A1 n'est pas conforme aux critères retenus pour les sols hydromorphes. Cette absence peut être dû à la culture récente ou plus vraisemblablement à l'action des vers de terre qui en ameublissant et en aérant considérablement l'horizon A1 empêche toute ségrégation de fer : cette caractéristique propre aux horizons A1 à vers de terre est fréquente.

3.1.1.2 - Caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques.

La texture de l'horizon A1 est nettement sableuse, avec à peu près autant de sable fin que de sable grossier ; l'horizon B1 fait transition : 19 % d'argile et une proportion un peu plus forte de sable grossier (S.F./S.G. de 0,7) ; l'horizon B2 est caractérisé par sa texture argilo-sableuse et une nouvelle augmentation du pourcentage de sable grossier : le rapport S.F./S.G. est voisin de 0,5 contre 0,9 pour l'horizon A1.

L'indice d'entraînement apparent de l'argile est particulièrement élevé ($1/4,1$), mais la représentation granulométrique du profil ne montre pas d'accumulation visible de l'argile : la teneur en argile augmente en profondeur jusqu'à la base de B et diminue fortement dans l'horizon C. Il y a en même temps argilification dans l'horizon B, et départ d'argile de l'horizon A mais sans accumulation en B.

La teneur en matière organique est très moyenne (1 % en surface) et le rapport C/N relativement faible (C/N de 12,8) s'explique par la culture récente.

La capacité d'échange est bonne dans tout le profil et suit à peu près les variations de la teneur en argile : 6,5 meq./100 g. dans l'horizon A1, 17 à 20 meq./100 g. dans l'horizon B2. Le pH (6,8 à 7) et le degré de saturation élevé ne sont pas caractéristiques : noter le pH neutre de l'horizon BC.

Parmi les bases échangeables, le calcium est bien représenté mais le magnésium l'est aussi, car il atteint des chiffres moitié de ceux du calcium dans l'horizon B2.

Les réserves minérales sont élevées, particulièrement en magnésium et potassium, alors que calcium et sodium sont moins bien présentés.

Les teneurs en fer total sont moyennes (2,2 à 5,7 %). La légère différence de teneur entre les horizons B et C peut faire penser à une légère accumulation relative, mais peut aussi bien s'expliquer par de faibles variations de composition de la roche-mère. Le point important est la diminution du fer total dans les horizons A1 et B1, qui s'accompagne d'une augmentation relative de la teneur en fer libre et d'une meilleure saturation de l'argile par le fer libre : Fe libre/Fe total supérieur à 0,5 en A1 et B1 et nettement inférieur à 0,5 en B2 ; Fe libre/Argile supérieur à 10 % en A1 et B1 et voisin de 6-7 % en B2.

L'indice d'entraînement du fer est de 1/2,6 : comme pour l'argile il y a élimination du fer des horizons supérieurs, facilitée par une plus grande individualisation de celui-ci, mais sans accumulation dans le profil.

Les minéraux argileux déterminés par analyse chimique (triacyde) et rayons X sont formés d'un mélange de montmorillonite, illite et kaolinite, dans lequel la montmorillonite semble jouer le rôle le plus important.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de l'argile, pratiquement constant dans le profil, est compris entre 3,1 et 3,2. La teneur en fer libre de l'argile diminue graduellement en profondeur tandis que sa proportion par rapport au fer total reste pratiquement constant sauf dans l'horizon BC.

La capacité d'échange calculée par rapport à l'argile est comprise entre 50 et 60 meq./100 g. ; mesurée sur la fraction argileuse, elle est un peu plus faible (25 à 45 meq./100 g.) et n'augmente significativement que dans l'horizon BC (72,6 meq./100g).

L'analyse aux Rayons X signale de la montmorillonite dans tout le profil, mais en proportion plus importante et bien cristallisée dans les deux derniers horizons : la goethite est décelée en sommet du profil.

3.1.2 - Profil POL 18.

- - - - -

3.1.2.1 - Caractéristiques morphologiques.

P O L 18.

Nord du village de Tetté.

En bas de pente d'une colline faiblement ondulée. Pente 2 %. Savane densément arborée à dominance d'*Anogeissus leiocarpus*.

Haute et dense végétation d'*Andropogonées*.

Roche-mère : embréchite pauvre en ferromagnésien et filon de microgranite.

Important microrelief par tortillons de vers de terre.

0 à 3-5 cm. Gris foncé (10 YR 4/1) et gris (10 YR 5/1) sec, fines mouchetures rouilles par place spécialement sur les éléments de vieux tortillons et en relation avec de fines racines; sable fin peu argileux; aspect général massif donnant structure lamellaire avec couche de sables colorés lités ou structure polyédrique fine faiblement développée; fragile à peu dur; quelques gros

pores dans les restes de tortillons mais la forte macroporosité n'apparaît qu'à la base de l'horizon, faible microporosité. Transition tranchée et légèrement ondulée.

- 5 à 12 cm. Horizon dans lequel les cavités remplies d'agrégats de toutes dimensions prédominent sur le squelette décrit à l'horizon suivant, qui occupe moins de 50 % de l'horizon et fait transition avec l'horizon A11; brun gris très foncé (10 YR 3/2) et brun gris (10 YR 5/2) sec; sable fin peu argileux; agrégats très variés remplissant les cavités: restes de tortillons de forme arrondie, peu poreux, dur à très dur, agrégats polyédriques à nuciforme bien développés de tailles variées (0,5 à 2 cm), fragile à dur et à bonne microporosité, petits grumeaux fragiles de 1 à 2 mm; grosses racines dans les cavités; squelette terreux comme dans A13.
- A12
- 12 à 27 cm. Squelette terreux continu parcouru de nombreux tubes de 0,5 à 1,5 cm de diamètre; brun foncé (10 YR 2,5/3) à brun gris foncé (10 YR 4/1,5) sec, trainées et points rouillés dans les zones les plus compactes du squelette; sable fin argileux; structure polyédrique fine moyennement développée, encore quelques petits éléments de tortillons (moins de 0,5 cm) et petits grumeaux; peu dur à dur; forte macroporosité biologique et bonne microporosité. La plupart des grosses racines d'arbres et arbustes s'arrêtent dans cet horizon. Transition distincte et régulière.
- A13
- 27 à 40 cm. Entièrement bigarré brun gris foncé et très foncé (10 YR 3/2 à 4/2) et brun foncé (7,5 YR 4/4), trainées plus claires de sables fins déliés; sable fin argileux; aspect massif donnant structure polyédrique fine peu développée; fragile à dur; porosité par tubes de 1 à 2 mm; très peu de fines racines. Transition distincte et régulière.
- A31

- 40 à 55 cm. Même couleur avec plus forte proportion de brun foncé (7,5 YR 4/4); trainées et poches de sables fins brun gris foncé (10 YR 4/2) assez abondantes par endroits;
- A32 aspect massif donnant structure polyédrique fine, peu développée; fragile à dur; porosité par tubes de moins de 1 mm; quelques concrétions noires. Transition tranchée et régulière.
- 55 à 68 cm. Couleur très hétérogène entièrement bigarrée: gris foncé (10 YR 4/1) à la surface des agrégats, intérieur brun gris à taches ou zones brun à brun vif (7,5 YR 4/4 à 5/6); sablo-argileux; macrostructure prismatique par fentes verticales donnant structure polyédrique grossière peu à moyennement développée; dur à très dur; faible microporosité; revêtements argileux lisses et de couleur homogène à la surface des agrégats; quelques concrétions noires. Transition distincte et régulière.
- B21
- 68 à 90 cm. A peu près identique; argilo-sableux; macrostructure prismatique (2 à 5 cm) moins nette; structure polyédrique grossière avec faces concaves par place; revêtement argileux sur les agrégats moins fréquents et moins nets, plus nombreuses concrétions noires. Transition distincte et régulière.
- B22
- 90 à 110 cm. Dominance de gris foncé (10 YR 4/1) et de zones brunes (8,75 YR 5/6) mieux délimitées que dans B21 et B22; massif, friable à ferme à l'état humide; concrétions noires; rares racines d'arbustes de 2-3 mm dans l'horizon B.
- 110 à 140 cm. Accumulation de cailloux et blocs rocheux hétérogènes, quartz de toute dimension; roche blanche à rose essentiellement quartzo-feldspathique.
- 140 cm. Horizon d'altération sans litage visible; feldspaths altérés mais encore individualisés; quelques ferromagnésiens non altérés; zone argileuse brun gris; déjà quelques concrétions noires.

Le profil peut s'interpréter ainsi :

- un horizon A1 épais, appauvri en argile, entièrement façonné et travaillé par les vers de terre (photo n°) : des taches rouilles apparaissent dès que l'horizon devient massif dans les zones non travaillées;
- un horizon A3; plus argileux, massif, plus nettement tacheté et à concrétions noires d'hydromorphie, à cohésion moyenne;
- passage brutal à un horizon B de pseudo-gley typique à taches de mieux en mieux marquées en profondeur et à forte cohésion; la macrostructure prismatique de B21 s'accompagne d'un lissage des agrégats, qui ne semble cependant pas correspondre à une accumulation d'argile;

- après un lit de cailloux entre B et C, passage à l'horizon d'altération d'une roche métamorphique leucocrate.

L'hydromorphie, qui commence dès les parties massives de l'horizon A est suffisamment importante pour classer ce sol comme sol hydromorphe minéral à pseudo-gley : comme le profil précédent il appartiendrait au sous-groupe à taches et à concrétions.

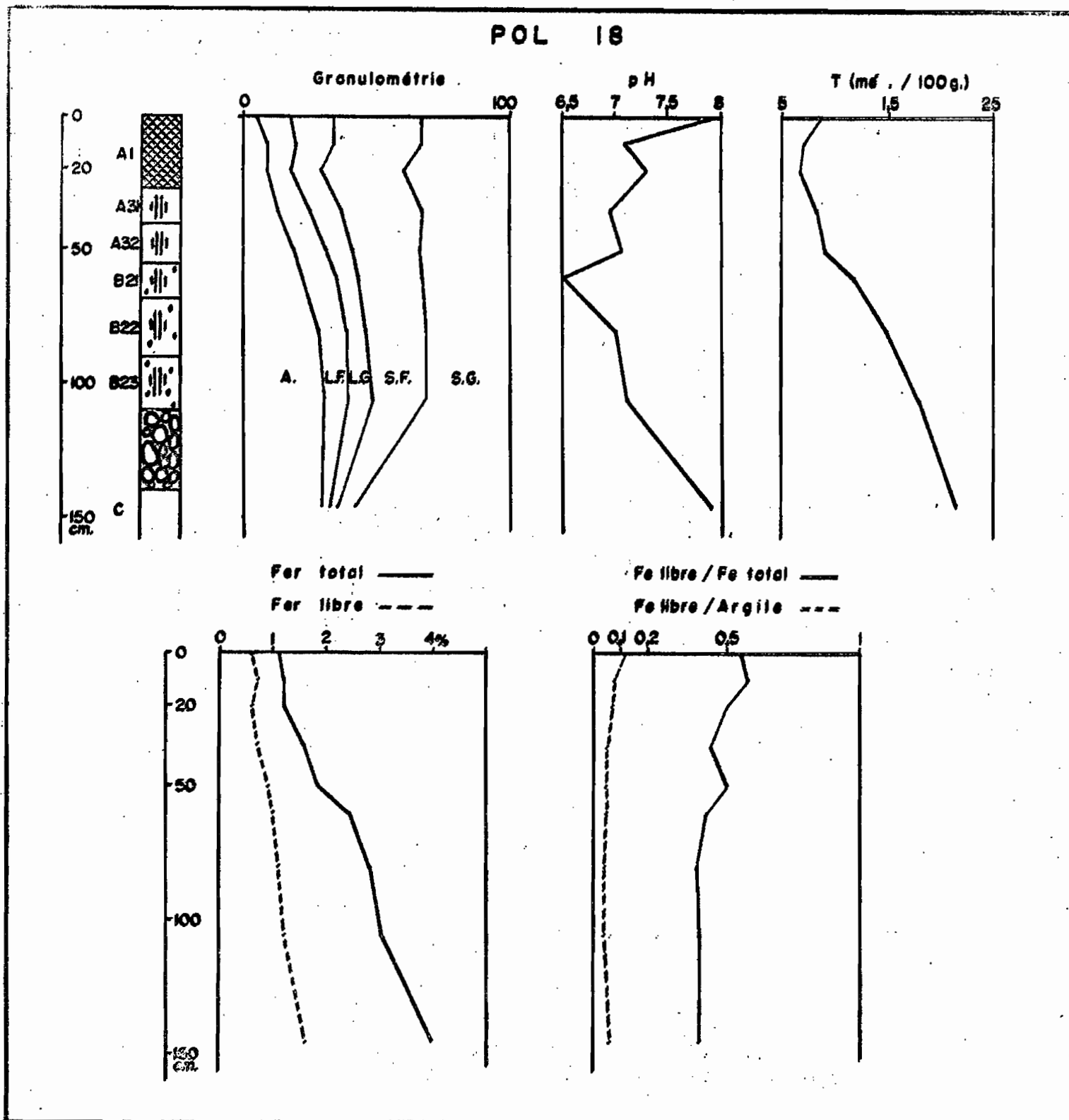


Figure 5

Profil P O L 18 - Résultats analytiques.

Echantillons	181	182	183	184	185	186	187	188	189
Profondeur cm.	0-3	5-12	15-25	30-40	45-55	55-65	70-85	95-110	140-150
GRANULOMETRIE %									
Argile	5	9	9	13	19	22	28,3	30,3	29
Edmon fin	13	11	9	12	12	13	10,5	9,1	2,5
Edmon grossier	16	14	11	12	10	8	7,7	8	1,5
Sable fin	33	31	31	30	25	24	21,7	18,5	7,5
Sable grossier	33	34	38	33	36	33	29	31	58,2
Graviers	-	-	-	-	0,2	0,8	0,8	0,8	28,9
MATIERES ORGANIQUES									
M.O. totale	10,7	9,6	8,8	6,4	5,3	2,9			
Carbone	6,2	5,6	5,1	3,7	3,1	1,7			
Azote	0,46	0,46	0,41	0,35	0,3	0,25			
C / N	13,6	13,8	12,4	10,6	10,4	7			
CATIONS ECHANGEABLES meq./100 g.									
Calcium	6,5	5,1	5	5,1	6,3	7,3	9,8	11,4	13,1
Magnésium	1,9	1,4	0,9	2,1	1,9	2,8	4,2	5,8	10,7
Potassium	0,03	0,03	0,03	0,2	0,1	0,2	0,03	0,03	0,2
Sodium	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,2
Somme S.	8,5	6,6	6	7,5	8,4	10,4	14,1	17,3	24,2
Capacité d'échange T	6,4	6,7	6,5	7,75	8,9	11,7	14,9	18	21,5
S / T	1	0,99	0,92	0,97	0,94	0,89	0,95	0,96	1
P H	7,9	7,1	7,3	6,95	7,05	6,5	7	7,1	7,9
Fer total	1,1	1,2	1,2	1,6	1,8	2,4	2,8	3	4
Fer libre	0,6	0,7	0,6	0,7	0,9	1	1,1	1,2	1,6
Fer libre/Fe total	0,55	0,58	0,5	0,44	0,5	0,42	0,39	0,4	0,4
Fer libre/Argile %	12	8	7	5	5	5	4	4	6

3.1.2.2 - Caractéristiques physiques et chimiques.

L'horizon A1, nettement sableux, contient moins de 10 % d'argile : sable fin (50 à 200 μ) et sable grossier s'équilibre sensiblement. La teneur en argile commence à augmenter dans l'horizon A3 sans dépasser 20 % et le sable grossier prend un léger avantage. Malgré la différence morphologique de structure et cohésion, le passage à l'horizon B ne se traduit pas par une augmentation de taux d'argile : la texture ne devient argilo-sableuse que vers 70 cm. L'indice d'entraînement de l'argile est particulièrement élevé (1/6,1). L'appauvrissement en argile est particulièrement marqué en A1 mais sans aucun indice d'accumulation en B : le profil granulométrique est parfaitement régulier jusqu'à l'horizon C.

Les teneurs en matière organique ne sont pas plus élevées que dans le profil précédent : 0,9 à 1,1 % de matière organique à C/N compris entre 12 et 14 dans l'horizon A1. Teneur en matière organique et rapport C/N ne s'abaissent nettement que les horizons A3 et B2 : 0,3 à 0,6 % de M.O. à C/N compris entre 6 et 11. Tous ces chiffres ne sont pas très caractéristiques de sols hydromorphes.

La capacité d'échange est comprise entre 6 et 9 meq./100 g. dans l'horizon A et s'élève avec la teneur en argile dans l'horizon B (12 à 18 meq./100 g.). Calculée par rapport à l'argile pour les horizons non organiques, la capacité d'échange est comprise entre 45 et 60 meq./100 g. ce qui suffit à montrer, en l'absence d'autres analyses, la présence de minéraux argileux à forte capacité d'échange comme la montmorillonite ou l'illite.

Le profil est particulièrement bien saturé : pH voisin ou supérieur à 7, degré de saturation compris entre 0,9 et 1. Le minimum du pH et de S/T/ est observé dans l'horizon B21 et il faut noter le pH franchement basique de l'horizon C. Le calcium est le cation dominant des bases échangeables, mais la proportion de magnésium augmente nettement en profondeur : le rapport Mg/Ca passe de 0,2-0,3 dans l'horizon A à 0,4-0,5 dans l'horizon B et 0,8 dans l'horizon C. Le sodium est à peine dosable dans tout le profil sauf dans l'horizon C (0,2 meq./100 g.).

L'examen des analyses de fer libre et total est particulièrement intéressant. Les teneurs en fer total sont peu élevées dans l'ensemble (1 à 4 %) et augmente régulièrement de la surface jusqu'à l'horizon C. Compte tenu de l'absence presque complète de concrétion, il n'y a donc pas accumulation, même relative, de fer mais au contraire élimination de celui-ci : l'indice d'entraînement du fer total est de 1/2,7, moins élevé que celui de l'argile. Cette élimination doit se faire dans l'horizon A : on observe en effet à la limite A/B, d'une part une nette inflexion de la courbe du fer total, d'autre part une diminution du rapport Fer libre/Fer total qui de 0,5-0,6 dans l'horizon A devient inférieur à 0,5 dans l'horizon B. De même le rapport Fer libre/Argile est nettement plus élevé (7 à 12 %) au sommet de l'horizon A qu'à la base de A et dans l'horizon B (inférieur à 5 %). Dans le profil le passage de B à A se traduit par un net changement concernant le fer : l'élimination à partir de l'horizon A en est facilitée et, bien que le profil soit en bas de pente, il n'y a pas d'accumulation absolue dans le profil et l'élimination du fer par le réseau hydrographique doit être définitive.

3.1.2.3 - Discussion (profils POL 11 et POL 18).

Le matériau originel, résultat de l'hydrolyse ménagée d'une roche métamorphique ou granitique riche en feldspaths calciques mais pauvre en fer, est un mélange de quartz et d'argile de type varié. L'infiltration de l'eau de pluie est suffisante pour atteindre la roche et provoquer son hydrolyse, mais la percolation insuffisante ne permet pas l'exportation hors du profil des bases libérées : le pH est neutre ou légèrement basique dans l'horizon C, ce qui oriente la synthèse argileuse vers la formation d'un mélange de minéraux 1/1 (kaolinite) et 2/1 (montmorillonite et illite). La présence de montmorillonite à ce stade influe sur toute la pédogénèse ultérieure et cette présence n'est pas due à la topographie mais bien à un type d'altération climacique de la roche-mère : cela justifie l'appellation générale "lithomorphe" que nous avons déjà donnée à ces sols.

A partir de l'horizon d'altération à structure conservée, la pédogénèse commence par la destruction complète de cette structure, qui s'accompagne d'une synthèse importante d'argile, mais les minéraux non altérés sont encore visibles, la couleur claire est toujours celle de l'horizon C et la présence fréquente de taches rouilles atteste que le fer est encore sous forme oxydée. Le passage à l'horizon B est toujours brutal et s'accompagne d'un brusque changement de couleur, mais sans modification apparente de la composition minéralogique. La texture argilo-sableuse, la faible individualisation du fer, son insuffisance par rapport aux teneurs en argile et la présence de montmorillonite donnent à cet horizon un caractère de pseudo-gley : l'horizon subit au cours de l'année des périodes de dessèchement et d'engorgement et est très peu perméable. Pendant la saison des pluies, l'imperméabilisation favorise, au sommet de l'horizon B, la formation d'une nappe phréatique plus ou moins permanente, condition qui doit être très favorable à l'installation de vers de terre : ceux-ci créent peu à peu un horizon différencié, à qui ils donnent une texture, une structure et une porosité particulière. L'aération favorise la libération du fer, ce qui contribue, malgré la présence de montmorillonite, à améliorer la structure.

Le lessivage en argile peut se faire selon deux processus possibles : lessivage d'argile à travers l'horizon A mais sans accumulation nette dans le profil; départ d'argile en surface par érosion superficielle, le brassage continu de l'horizon par les vers de terre, renouvelant constamment les matériaux fins susceptibles d'être éliminés.

A l'inverse l'étude du profil du haut vers le bas au cours de l'année va confirmer que les caractéristiques acquises ne peuvent que se conserver et sont bien en accord avec les phénomènes observés.

En début de la saison des pluies, l'eau pénètre facilement l'horizon A perméable et poreux et ruisselle peu : elle va rapidement humecter l'horizon B et provoquer le gonflement de la mont-

morillonite présente et l'engorgement de tout l'horizon par suite de la forte diminution de sa perméabilité. Cependant, au cours de la saison des pluies, de l'eau va traverser cet horizon pour atteindre le matériau originel et la roche-mère, mais elle n'est pas suffisante pour assurer en même temps l'hydrolyse de la roche et l'évacuation des bases : le pH va rester basique. Pendant le même temps l'intense activité biologique dans les horizons de surface est peut-être susceptible de provoquer un lessivage de l'argile.

En pleine saison des pluies l'horizon B est pratiquement imperméable et l'horizon A est saturé d'eau : les fortes pluies de cette période (août-septembre) vont provoquer aussi bien un ruissellement superficiel susceptible d'entraîner de l'argile qu'un ruissellement à la limite A/B, qui a été réellement vu sur le terrain et qui peut produire les mêmes résultats. Les conditions d'humidité sont alors très bonnes pour l'activité des vers de terre.

En saison sèche l'horizon A va se dessécher rapidement sous l'influence de l'évaporation, dessèchement favorisé par la texture sableuse et la forte porosité de l'horizon. Plus en profondeur au contraire, la différence de texture et porosité entre A et B est susceptible d'entraîner la rupture du lien capillaire entre les deux horizons et un dessèchement beaucoup moins rapide de B, qui va rester ainsi humide une partie de l'année.

Telle est l'explication globale que l'on peut donner de la pédogénèse de tels profils, chaque caractéristique d'un horizon orientant et expliquant celle des horizons situés en-dessous ou au-dessus, et réciproquement.

3.1.3 - Profil RBA 6.

3.1.3.1 - Caractéristiques morphologiques (photo n°).

R B A 6.

2,5 km à l'est de Larki.

Pratiquement plat en sommet de colline très aplanie à allure de plateau. Pente : inférieure à 1 %.

Roche-mère : roche métamorphique pauvre en ferromagnésien.

Savane moyennement arborée à *Butyrospermum Parkii* et *Terminalia macroptera*. Dense et haute végétation d'Andropogonées.

Microrelief par affaissement et rigoles de l'ordre du décimètre et tortillons de vers de terre de l'ordre du centimètre.

- 0 à 16 cm. Brun gris très foncé (10 YR 3/2) et gris brun clair (10 YR 6/2) sec; sable fin peu argileux; structure nuciforme fine moyennement développée; peu dur; très forte macroporosité biologique. Transition distincte et régulière.
- A1
- 16 à 35 cm. Brun gris très foncé (10 YR 3/2) à gris brun clair (10 YR 6/2) sec, légèrement tacheté de rouille surtout à partir de 25 cm; sable fin peu argileux; aspect massif donnant agrégats polyédriques moyens peu développés; peu dur à dur; pas de macroporosité, bonne microporosité. Transition distincte et régulière.
- A31
- 35 à 55 cm. Brun foncé (10 YR 4/3) et brun pâle (10 YR 6/3) sec; très tacheté de rouille et noir; sable fin argileux; aspect massif donnant agrégats polyédriques moyens peu développés; peu dur à dur; assez poreux. Transition tranchée et ondulée.
- A32
- 55 à 65 cm. Concentration de quartz (graviers et cailloux) et de concrétions noires dans très peu de terre: cet horizon à une position et une épaisseur variable dans le profil.
- 65 à 85 cm. Brun olive clair (2,5 Y 5/4) à jaune pâle (2,5 Y 7/4) sec; argilo-sableux; massif à structure polyédrique plus ou moins bien développée par surface de glissement assez étendue (maximum 10 x 10 cm), bien planes et espacées de 1,5 à 2 cm quand elles sont parallèles; très dur à sec et plastique humide; peu poreux; très fines racines sur les surfaces d'agrégats. Transition distincte et régulière.
- B21

- 85 à 100 cm. Brun olive clair (2,5 Y 5/3) à gris clair (2,5 Y 7/3) sec argileux; massif, disparition progressive des surfaces de glissement; très ferme et plastique à l'état humide; peu poreux.
- 100 cm. Horizon d'altération de roche pauvre en fer: aspect jaune clair à trainées gris clair, non structuré mais assez compact.

La morphologie du profil peut se schématiser ainsi :

- un horizon A1 à forte proportion de sable fin et fortement travaillé par les vers de terre;
- un horizon A3 épais, tacheté de rouille, massif mais à cohésion moyenne;
- un lit de cailloux d'épaisseur et profondeur variable, suggérant la possibilité de mouvement dans le sol;
- un horizon B de pseudo-gley très décoloré (2,5 Y), massif et à forte cohésion; faces de glissement bien développées sur 20 cm d'épaisseur;
- un horizon C d'altération d'une roche litée pauvre en ferromagnésien.

Comme les précédents, ce profil est divisé en deux horizons nettement distincts et aux caractéristiques morphologiques tranchées. La présence d'un lit de cailloux accentue encore le contraste. La présence dans ce lit de cailloux, de concrétions noires qui n'existent que dans l'horizon B suggère la possibilité d'une concentration des éléments grossiers à la limite entre un horizon argileux animé de mouvements vertisliques et un horizon plus sableux stable. De même le microrelief particulier observé en surface s'apparenterait à un microrelief gilgai.

On peut discuter de la place de ce profil dans la classification selon l'importance que l'on attache au caractère hydromorphe ou vertislique. On peut l'interpréter plutôt comme un faciès à caractère vertique prononcé d'un sol hydromorphe à pseudo-gley, que comme un vertisol hydromorphe à horizon A particulièrement développé: nous verrons plus loin (chaîne de sol Larki par. 5.1) que, sur le terrain il fait transition entre un sol hydromorphe à pseudo-gley modal et un vertisol hydromorphe typique.

RBA 6

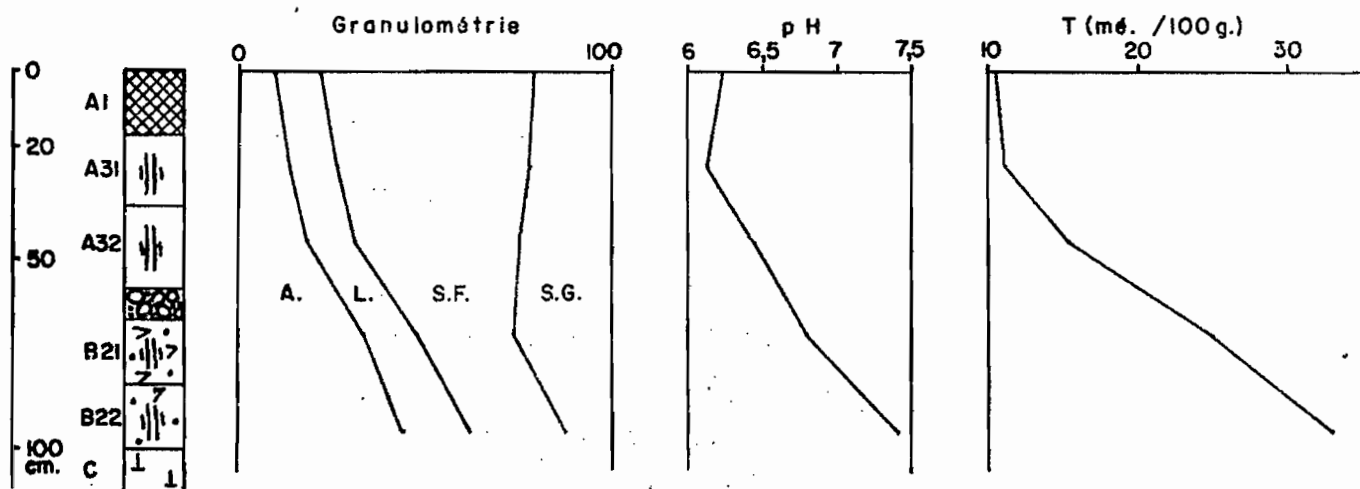


Figure 7

Profil R B A 6 - Résultats analytiques.

Echantillons	62	63	64	65	66
Profondeur cm.	0-10	20-25	40-55	65-75	90-100
GRANULOMETRIE %					
Argile	10,5	13,7	18,9	43,1	43,5
Limon	12,8	13,6	12,5	14,8	17,9
Sables fins	55,8	52,6	43,6	26,3	26,1
Sables grossiers	21	21,6	24,5	26,2	12,6
Graviers	-	-	1,8	4,3	0,7
MATIERES ORGANIQUES ‰					
M.O. total	13	9	5		
Carbone	8	5,6	3,1		
Azote	0,54	0,46	0,31		
C / N	14,8	12,1	10		
CATIONS ECHANGEABLES meq./100 g.					
Calcium	7,2	7,5	11,8	16,4	23,6
Magnésium	1,4	2,2	1,3	6	7,4
Potassium	0,1	0,12	0,12	0,33	0,33
Sodium	-	-	0,11	0,36	0,57
Somme S.	8,7	9,8	13,3	23,1	31,9
Capacité d'échange T.	10,5	11,1	15,2	25	33
S / T	0,8	0,87	0,88	0,92	0,96
p H					
	6,25	6,15	6,45	6,8	7,4
BASES TOTALES meq./100 g.					
Calcium	11,9	12,1	12,7	19,1	30,2
Magnésium	9,1	16,8	12,5	24,7	33,2
Potassium	1,3	1,2	1,4	1,6	2,5
Sodium	-	0,35	0,37	0,46	0,78
Phosphore ‰	0,33	0,18	0,2	0,15	0,02

3.1.3.2 - Caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques.

Les résultats d'analyses granulométriques nous montrent bien les caractéristiques différentes des horizons A et B :

- horizon A : 10 à 20 % d'argile avec des rapports SF/SG compris entre 2,7 et 1,8.
- horizon B : 35 à 45 % d'argile et SF/SG compris entre 1,0 et 2.

L'enrichissement en sable fin est particulièrement net jusqu'à 35 cm. L'indice d'entraînement de l'argile est de 1/4,1 et dénote un fort appauvrissement de l'horizon A mais on ne décèle aucune accumulation visible en B.

Les teneurs en matière organique sont de l'ordre de 1,3 % en surface et encore 0,5 % à 50 cm (horizon A3) : le rapport C/N sous végétation naturelle est assez élevé (C/N voisin de 15), mais baisse rapidement en profondeur.

La capacité d'échange passe de 10-12 meq./100 g. dans l'horizon A à 20-25 meq./100 g. dans l'horizon B, beaucoup plus argileux. Cette capacité d'échange est bien saturée, puisque le taux de saturation oscille entre 85 et 95 % et le pH, faiblement acide, présente un minimum (pH 6,15) dans l'horizon A3, pour remonter au-dessus de la neutralité à la base de l'horizon B. La somme des bases échangeables comprend une forte proportion de calcium et le rapport Mg/Ca est inférieur à 0,35.

Les réserves minérales sont élevées particulièrement en calcium et magnésium, qui sont pratiquement identiques, ce qui n'était pas le cas pour le profil POL 11 où le magnésium était nettement dominant.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de la fraction argileuse est compris entre 3,2 et 3,5, ce qui dénote la présence d'une importante proportion de montmorillonite. Comme dans le profil POL 11 les teneurs en fer libre de l'argile baisse en profondeur et celui-ci ne représente que moins de 40 % du fer total de la fraction argileuse.

Les rayons X confirment l'analyse chimique quant à la nette

prédominance de la montmorillonite dans la fraction argileuse : la kaolinite est faiblement représentée et l'illite, en faible proportion dans l'horizon A n'est plus qu'à l'état de traces dans l'horizon B.

3.1.3.3 - Discussion.

Comme dans les profils précédents, l'hydromorphie est le processus dominant : elle apparaît dès l'horizon A3 et l'horizon B est un pseudo-gley typique. Le matériau originel, formé à partir d'une roche relativement riche en calcium, est argileux et le minéral dominant est la montmorillonite.

La différenciation du profil en deux horizons tranchés est toujours nette. La position du profil en sommet de plateau exclut pratiquement tout colluvionnement pour expliquer la texture particulière de l'horizon A : le profil a donc dû se différencier in situ. On est obligé d'accorder une importance particulièrement forte à l'intervention des vers de terre pour expliquer ce lessivage en argile de l'horizon supérieur, bien qu'actuellement l'action visible de ceux-ci ne s'exerce que sur une partie de cet horizon.

La présence de faces de glissement dans une partie de l'horizon B indique nettement son caractère vertique, qui ne peut s'expliquer que par la forte proportion de montmorillonite dans la fraction argileuse. Cependant ce caractère ne peut s'exprimer que dans un horizon à teneur élevée en argile, pour que les phénomènes de gonflement et de rétraction puissent prendre une ampleur suffisante pour permettre un mouvement dans le sol. Il est donc limité à une partie de l'horizon B, ce qui exclut une homogénéisation complète du profil comme dans les vertisols typiques. Il se traduit cependant par les phénomènes annexes propres aux vertisols : apparition d'un microrelief en surface; accumulation d'éléments grossiers au sommet de l'horizon en mouvement.

Deux facteurs semblent à l'origine du caractère vertique de ce profil : une richesse plus grande en calcium de la roche, attestée par les teneurs en calcium total, oriente l'altération vers une hydrolyse et une néosynthèse en milieu nettement basique géné-

rateur de montmorillonite; le relief aplani en sommet de colline diminue le drainage externe et facilite une humectation prolongée du profil, surtout dans ses horizons profonds. Ce caractère vertical est suffisamment net pour être utilisé dans la classification de ce profil.

3.1.4 - Profil BIB 5.

Le profil BIB 5 sera le dernier profil étudié en détail. Dans la gamme des profils étudiés il se distingue par l'absence d'action visible des vers de terre et se situe à l'opposé du précédent qui se rapprochait nettement des vertisols : le profil BIB 5 présente des phénomènes de lessivage et d'accumulation, ce qui le rapprocherait des sols ferrugineux tropicaux lessivés.

3.1.4.1 - Caractéristiques morphologiques.

B I B 5.

5 km est d'Adoumri.

Collines faiblement ondulées; à 150 m du sommet de collines; pente de 3 à 4 %.

Savane densément arborée et arbustive à *Anogeissus leiocarpus* dominant; *Andropogonées* de 1,2 à 1,5 m de haut.

- 0 à 8 cm. Gris très foncé (10 YR 3/1) et gris foncé (10 YR 4/1) sec; sable fin peu argileux; structure polyédrique fine
A1 moyennement à peu développée; fragile; rares macropores; faible microporosité; fines racines de graminées. Transition tranchée et régulière.
- 8 à 20 cm. Gris très foncé (10 YR 3/1) et brun gris foncé (10 YR 4/1,5) sec; sable fin et grossier peu argileux; structure très peu développée; fragile; bonne microporosité.
A2 Transition tranchée et ondulée.
- 20 à 40 cm. Lit de cailloux de quartz de dimension variable dans terre brun pâle (10 YR 6/3); ensemble assez compact. Transition distincte et ondulée.

- 40 à 75 cm. Entièrement bigarré à dominance de brun vif (7,5 YR 5/6) avec taches plus rouges (rouge-jaune 5 YR 4/6) ou plus grises (brun à brun gris, 10 YR 5/2 à 5/3), la proportion de 10 YR augmentant en profondeur; argileux; vague macrostructure prismatique donnant agrégats polyédriques moyens bien développés; dur à sec; faible porosité par pores jusqu'à 1,5 mm. Transition distincte et régulière.
- B2
- 75 à 90 cm. Entièrement bigarré à dominance de brun-jaune (10 YR 5/4) à taches plus rouges (brun vif 7,5 YR 5/6) et plus grises (brun gris 10 YR 5/2); argilo-sableux; structure polyédrique moyenne assez bien développée; dur à sec, peu poreux. Transition graduelle et ondulée.
- B3
- 90 cm. Horizon d'altération de couleur très variable: gris N/5, brun-jaune (10 YR 5/6) et blanc (10 YR 8/1); peu de minéraux noirs.
- C

Ce profil s'interprète ainsi :

- un horizon A1 peu épais, à dominance de sable fin et à structure peu développée;
- un horizon A2 assez bien caractérisé par sa couleur claire, sa texture sableuse et sa structure très peu développée;
- entre A et B lit de cailloux de quartz assez compact;
- passage brutal à un horizon à pseudo-gley, à accumulation d'argile et macrostructure prismatique;
- horizon C d'altération d'une roche granitique pauvre en ferromagnésien : couleur très variable selon le degré d'oxydation du fer.

La différenciation du profil en deux horizons nettement différents est particulièrement nette : un horizon A meuble, lessivé en argile, non hydromorphe; un horizon B à accumulation d'argile et à pseudo-gley. Ces critères morphologiques permettraient peut-être, malgré l'intensité du pseudo-gley, de classer ces sols comme ferrugineux tropicaux lessivés: l'examen des résultats analytiques

va montrer qu'il s'agit bien d'un sol hydromorphe.

BIB 5

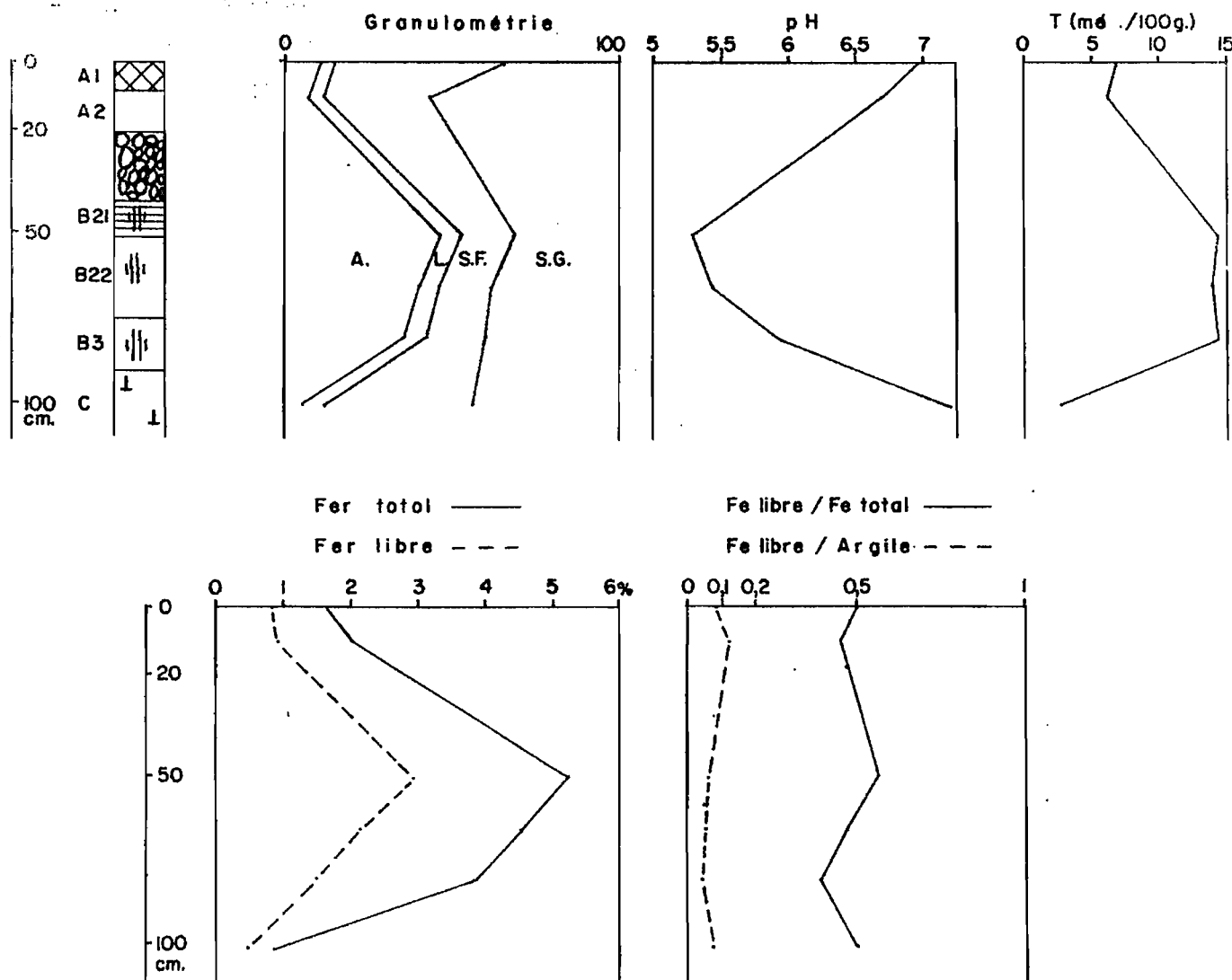


Figure 6

3.1.4.2 - Caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques.

L'horizon A est nettement sableux (7 à 10 % d'argile) et on observe une dominance de sable fin en A1 et de sable grossier en A2, sans qu'on puisse en donner une explication. Après le lit de cailloux de quartz on passe brusquement à l'horizon B, où l'on note une nette accumulation d'argile en B21. Le profil BIB.5 est un des rares profils où l'on puisse observer un "ventre" granulométrique réel. La teneur en sable baisse brusquement par rapport à celle en éléments fins.

Profil B I B 5 - Résultats analytiques.

Echantillons	51	52	53	54	55	56
Profondeur cm.	0-7	7-15	45-60	60-70	75-90	90-100
GRANULOMETRIE %						
Argile	10,2	7,4	47,1	40,4	36,4	5,8
Limon	4,8	4,3	6,1	5,9	6,1	5,6
Sable fin	50,5	31	16	16	19	45
Sable grossier	33,5	56,5	31	38	39,5	44
Gravier	0,9	18,6	8,5	4,3	5	4
MATIERES ORGANIQUES ‰						
M.O. totale	1,6	1,1	0,56	0,36	0,39	
Carbone	9,3	6,6	3,3	2,1	2,3	
Azote	0,69	0,47	0,36	0,34	0,39	
C / N	13,5	14	9,2	6,2	5,9	
CATIONS ECHANGEABLES meq./100 g.						
Calcium	4,75	3,95	7,4	7,7	7,9	2,8
Magnésium	0,75	0,8	1,6	1,5	1,1	0,25
Potassium	0,17	0,07	0,16	0,25	0,27	0,07
Sodium	0,06	0,06	0,18	0,2	0,33	0,06
Somme S.	5,7	4,9	9,4	9,65	9,6	2,15
Capacité d'échange T.	7	6,3	14,4	14,2	14,6	3
S / T	0,81	0,78	0,65	0,67	0,66	0,72
p H	6,95	6,7	5,3	5,4	5,95	7,2
BASES TOTALES meq./100 g.						
Calcium	15,9	9,6	15,3	13,2	16,1	11,7
Magnésium	21,4	29	67	45	41	21
Potassium						
Sodium	2,3	2,5	2,8	3,4	2,8	4,9
Phosphore ‰						
Fer total %	1,6	2	5,2	4,5	3,8	0,8
Fer libre %	0,8	0,9	2,9	2,1	1,5	0,4
Fe libre / Fe total	0,5	0,45	0,56	0,47	0,39	0,5
Fe libre / Argile %	8	12	6	5	4	7

Des études sédimentologiques effectuées sur ce profil (minéraux lourds, morphoscopie des sables), il ressort une identité d'origine de tous les horizons du sol : en particulier la morphoscopie des sables nous montre des quartz non usés dans tout le profil, ce qui exclut un apport éolien pour expliquer sa forte hétérogénéité granulométrique. L'examen des courbes de granulométrie des sables confirme et précise ce que nous avons déjà dit. En particulier l'hétérométrie (He ou indice de classement), très forte et normale en B diminue dans l'horizon A : il y a donc début de triage dans l'horizon A et celui-ci porte surtout sur le sable fin (40 à 250 μ) dans l'horizon A1 (1).

Sans exclure la possibilité d'un remaniement, qui serait attesté par la présence du lit de cailloux de quartz, l'hypothèse d'une pédogénèse en place est plausible. Il y aurait départ d'argile de l'horizon A, aussi bien par lessivage vertical que par érosion superficielle et accumulation d'argile au sommet de B aussi bien par apport vertical que par apport oblique : il s'agit là d'un lessivage typique. Quant au triage du sable dans l'horizon A et portant particulièrement sur le sable fin, il s'apparente fort à ce que nous avons déjà observé dans les trois profils précédents et serait le résultat d'une action ancienne des vers de terre.

Les teneurs en matière organique ne sont pas très élevées : 1,6 % en A1 avec un C/N de 13,5. Elles sont encore notables en A2 mais diminuent fortement en B : moins de 0,5 % et C/N inférieur à 10.

La capacité d'échange suit d'assez près les teneurs en argile : de 6-7 meq./100 g. dans l'horizon A, elles passent à 14-15 meq./100 g. dans l'horizon B. Le complexe absorbant est saturé essentiellement par le calcium; le rapport Mg/Ca est généralement inférieur à 0,2 ; le sodium est dosable dans l'horizon B mais en faible quantité (0,2 à 0,3 meq./100 g.). La courbe de variation du pH, assez voisine de celle du rapport S/T, est caractéristique de ces sols hydromorphes avec son minimum, ici très accusé, au sommet de B. Le pH est basique dans l'horizon C.

(1) Analyses effectuées au Laboratoire de Sédimentologie, S.S.C. de l'ORSTOM, Bondy.

Les réserves minérales sont élevées en calcium et surtout en magnésium, et particulièrement dans l'horizon B.

Les variations de teneurs en fer libre et total dans le profil appellent quelques remarques. La grande différence entre les teneurs en fer de l'horizon C et de l'horizon B fait penser, plutôt qu'à une accumulation, à une variation de la composition de la roche-mère dans le profil : le magnésium total est d'ailleurs directement lié aux teneurs en fer total. Cette remarque n'exclut cependant pas la possibilité d'une accumulation de fer au sommet de B, où l'on observe en même temps les maximums des teneurs en fer libre et fer total et du rapport Fe libre/Fer total. Il y aurait donc dans l'horizon B21 en même temps accumulation de fer et d'argile.

La fraction argileuse de ce profil a été étudiée d'une façon assez détaillée. Les minéraux argileux présents sont la kaolinite, l'illite et la montmorillonite, en proportion variable selon les horizons.

Echantillons	Horizons	Minéraux argileux	Capacité d'échange meq./100 g.	SiO ₂ A1203
B I B 51	A 1	Montmorillonite, illite et kaolinite (à peu près égale).	25,1	2,75
B I B 52	A 2		28,3	2,65
B I B 53	B 21	Kaolinite, illite, montmorillonite (dans l'ordre).	17,2	2,35
B I B 54	B 22		18,7	2,5
B I B 55	B 3	Montmorillonite et kaolinite égale, illite.	26,2	2,55
B I B 56	C		26,6	2,65

On observe en particulier un minimum des minéraux argileux à SiO₂/A1203 élevé et forte capacité d'échange (montmorillonite) au sommet de B et un maximum dans les horizons B3 et C : ce minimum est mis en évidence aussi bien par l'étude aux Rayons X, que par l'analyse triacide (minimum du rapport SiO₂/A1203) et la

mesure de la capacité d'échange sur l'argile. Ces faits sont difficilement explicables.

3.1.4.3 - Discussion.

Un premier point est l'impossibilité de ranger ce profil dans les sols ferrugineux tropicaux : la présence de minéraux 2/1, en particulier de montmorillonite, dans tout le profil et en quantités importantes, la faible individualisation du fer (fer libre/fer total inférieur à 0,55) sont incompatibles avec la classe des sols fersiallitiques. L'altération est du même type que dans les profils précédents et conduit à la formation d'un horizon B à pseudo-gley.

Un deuxième point est l'absence de caractère d'hydromorphie et l'importance du départ d'argile dans l'horizon A, dans lequel un horizon A2 a été nettement caractérisé. L'absence d'hydromorphie dans l'horizon A est peut-être à mettre en relation avec l'important lit de cailloux qui doit améliorer le drainage de la partie supérieure du sol. Quant au départ d'argile, il est associé à une nette accumulation au sommet de B : il y aurait donc lessivage sensu stricto. Enfin, s'il n'y a pas action actuelle visible des vers de terre, la possibilité d'une action ancienne n'est pas à exclure.

Bien que ce profil se rapproche des sols ferrugineux tropicaux lessivés par la différenciation des horizons, il s'éloigne suffisamment des critères des sols fersiallitiques pour rester dans la classe des sols hydromorphes, compte tenu de la présence de montmorillonite dans le matériau originel et le sol, et de l'importance du pseudo-gley dans l'horizon B. Le rattachement aux sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley ne pose pas de problèmes.

3.2 - Caractéristiques générales.

Dans ce chapitre sont étudiées et précisées les caractéristiques de ces sols hydromorphes lithomorphes à partir d'observations et de résultats analytiques portant sur 15 à 18 profils.

3.2.1 - Caractéristiques morphologiques et physiques.

3.2.1.1 - Couleur.

La couleur de ces sols est une caractéristique importante, qui les distingue assez nettement d'autres types de sols. L'étude a porté sur les horizons A1, A3 et B2 de 15 profils.

Les horizons A ont toujours leur couleur dans la planche 10 YR et on note d'assez nettes différences entre sec et humide (voir photos). Les couleurs moyennes sont les suivantes :

	A 1	A 3
. Humide	10 YR 3,25/1,75	10 YR 4/2,25
. Sec	10 YR 5,25/1,5	10 YR 5,5/2,25.

La différence de valeur entre sec et humide est en moyenne de 2 dans l'horizon A1 et 1,5 dans l'horizon A3, inférieure à ce qui est couramment donné pour les sols ferrugineux tropicaux lessivés (MAIGNIEN, 1964). On notera le faible éclaircissement de A3 par rapport à A1, ce qui ne nous a pas permis dans les descriptions de profils, d'utiliser la nomenclature A2.

L'horizon B a des couleurs beaucoup plus variées, puisqu'on peut les noter dans les planches 7,5 YR, 10 YR, 2,5 Y et exceptionnellement 5 Y. Les différences entre sec et humide s'estompent presque totalement : au maximum 1 valeur. Il est difficile de faire une moyenne et on peut seulement dire que la valeur est dans la majorité des cas supérieure à 5 et le chroma compris entre 2 et 4. Les faibles chroma, en particulier, donnent à ces sols une couleur terne en liaison avec la faible individualisation du fer et la présence de pseudo-gley. Ces couleurs de l'horizon B placeraient ces sols entre les sols ferrugineux tropicaux à chroma plus élevé (4 à 6) et les vertisols à chroma souvent plus faible (1 à 2).

Il faut noter la différence entre l'hétérogénéité des couleurs de B, horizon en liaison étroite avec la roche-mère et sa composition, et l'homogénéité beaucoup plus grande des couleurs de l'horizon A, qui a subi dans tous les profils l'action pédogénétique des vers de terre.

3.2.1.2 - Texture.

La texture et surtout les variations de texture dans le profil sont une caractéristique importante de ces sols.

Les études de profils avaient déjà montré l'opposition entre les deux horizons A et B du profil: les histogrammes des teneurs en argile et en sable fin, pour les horizons A1 et B2 sont particulièrement caractéristiques à cet égard.

L'examen des histogrammes de teneurs en argile est assez instructif : 93 % des échantillons se groupent entre 5 et 15 % d'argile pour l'horizon A1, 93 % des échantillons s'étalent entre 25 et 45 % d'argile pour l'horizon B2. Les teneurs en argile de B2 sont directement fonction de pourcentage de minéraux altérables de la roche-mère et il est donc normal que l'on observe une assez grande dispersion des chiffres. Au contraire les teneurs en argile de A1 sont beaucoup plus en rapport avec les processus pédogénétiques qui affectent cet horizon et qui, quels qu'ils soient en réalité (lessivage, appauvrissement, érosion) sont directement liés à l'action des vers de terre : à partir d'un horizon B à teneur en argile variable, la pédogénèse due aux vers de terre façonne un horizon A de caractéristiques plus homogènes. Cette pédogénèse aboutit finalement à donner aux profils granulométriques, un aspect très particulier qui traduit, sans que l'on puisse parler de lessivage puisque dans la plupart des cas il n'y a pas d'accumulation nettement visible en B, un très fort appauvrissement en argile de l'horizon A : les indices d'entraînement de l'argile (rapport des teneurs en argile de l'horizon le moins argileux de A à l'horizon le plus argileux de B) sont particulièrement élevés et s'étalent de 1/3,2 à 1/8,7. Un autre point à noter est l'aspect du passage entre les horizons A et B : les teneurs en argile peuvent augmenter graduellement dans les horizons A3 et B1 (profil POL 16 fig. 8 et profil POL 11 fig. 4); au contraire dans les profils BIB 9 (fig. 8) et BIB 5 (fig. 7) le passage est très brutal : c'est souvent le cas pour les profils à structure prismatique au sommet de B.

L'histogramme des teneurs en sables fins (fig. 8) est moins parlant que celui des teneurs en argile : on y observe cependant

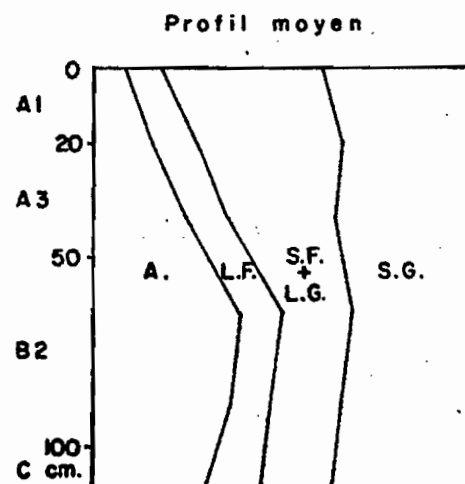
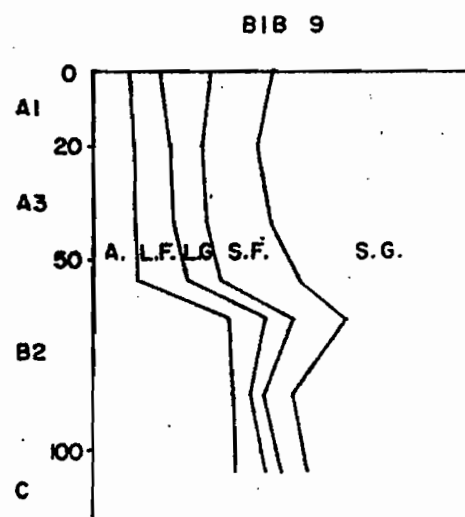
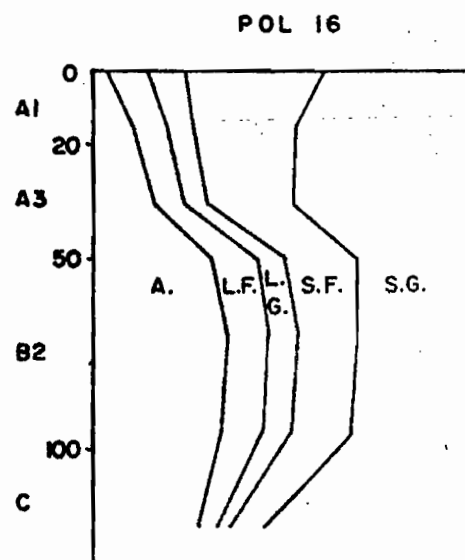
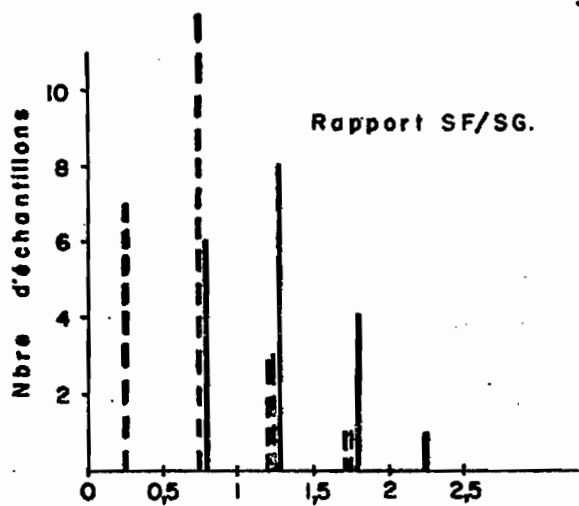
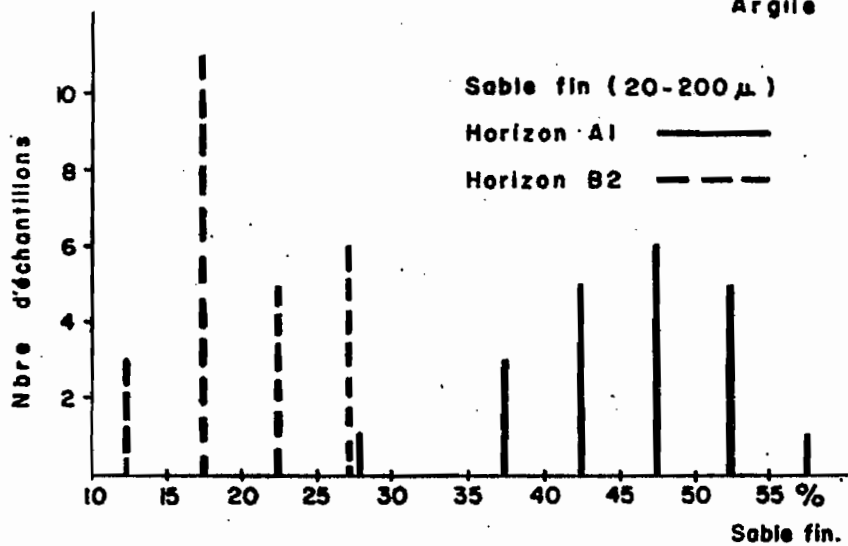
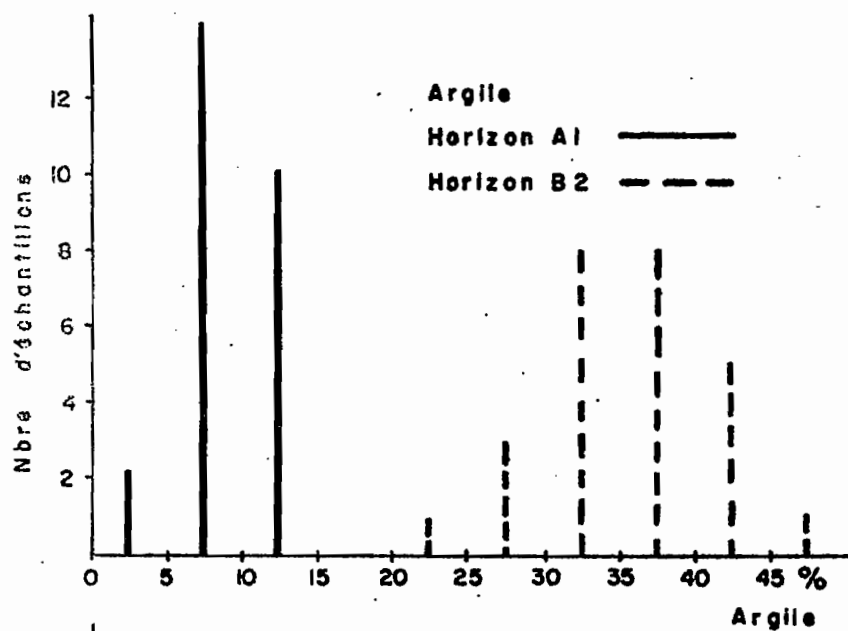


Figure 8 Granulométrie

l'hétérogénéité de la répartition pour l'horizon B2 et un certain regroupement pour l'horizon A1.

Le deuxième point important que l'on peut tirer de l'étude de la texture est l'enrichissement en sables fins de l'horizon A et particulièrement de l'horizon A1. Cet enrichissement ressort notamment des observations suivantes :

- histogramme des rapports SF/SG (fig. 8) pour les horizons A1 et B2 ce rapport est assez nettement, mais peut-être pas significativement plus élevé pour l'horizon A1 ;

- profils granulométriques : ils montrent très souvent un élargissement vers le haut de la bande S.F., en particulier le profil BIB 5 (fig. 7) le profil POL 16 ainsi que le profil moyen (fig. 8) ;

- courbes cumulatives de granulométrie des sables et calcul de l'hétérométrie : cette étude fut effectuée sur deux profils et confirme le triage des sables fins.

Cette étude a mis en particulier en évidence :

- un enrichissement portant essentiellement sur la fraction comprise entre 30 et 250 μ ;

- une forte diminution de l'hétérométrie de B en A : celle-ci élevée dans l'horizon B (He de 2,4 à plus de 3), ce qui est normal pour un matériau directement dérivé d'une roche par altération, passe à 1,3-1,6 dans l'horizon A ; un examen morphoscopique des sables excluait d'autre part tout apport éolien en surface.

Le triage n'a pu se faire que sur place et divers processus sont possibles. On peut d'abord mettre en cause un triage biologique sous l'action des vers de terre : une telle action a déjà été notée par MYE (1955) au Ghana. Deux hypothèses sont plausibles pour expliquer ce triage : les vers de terre n'ingèrent en profondeur que les particules inférieures à un certain diamètre et les grains non ingérés et non remontés verticalement dans les déjections deviennent plus nombreux en profondeur ; les vers de terre ont la possibilité de briser les grains les plus gros (BLARK et GIESECKE,

). On ne peut exclure ensuite un processus purement pédologique

de fragmentation des grains de quartz, en particulier sans l'influence de l'hydromorphie et de très grandes variations dans les conditions d'humectation et de dessiccation : ce processus existe pour les podzols et est soupçonné pour les horizons lessivés des solonetz solodisés. Des études plus détaillées seraient nécessaires pour faire la part de ces différents processus dans ce phénomène de triage.

L'étude de la texture confirme ce que nous avons déjà décelé sur quelques profils : l'importance du lessivage en argile et de l'enrichissement en sable fin de l'horizon A; l'absence à peu près générale d'accumulation vraie d'argile dans l'horizon B, dont la texture dérive par argilification de celle du matériau originel.

3.2.2 - Caractéristiques chimiques.

3.2.2.1 - Matière organique.

La fig. 9 regroupe les principales caractéristiques concernant la matière organique : histogramme des teneurs en matière organique et du rapport C/N pour l'horizon A1, variation de la matière organique et du C/N dans deux profils typiques.

Les histogrammes pour l'horizon A1 nous montrent une assez grande dispersion des valeurs aussi bien pour les teneurs en matière organique (0,5 à 2 %) que pour le rapport C/N (75 % des échantillons seulement sont compris entre 10 et 16) : ces données peuvent donc difficilement servir à caractériser ces sols. On peut simplement faire les remarques suivantes :

- les taux de matière organique ne sont pas très élevés (aucune accumulation de m.o.) et sont assez voisins de ceux d'autres sols de la région comme les sols ferrugineux tropicaux lessivés;

- les valeurs du rapport C/N sont moyennes et même inférieures aux chiffres généralement admis pour les sols ferrugineux tropicaux lessivés, ce qui paraît à priori paradoxal, s'agissant de sols hydromorphes.

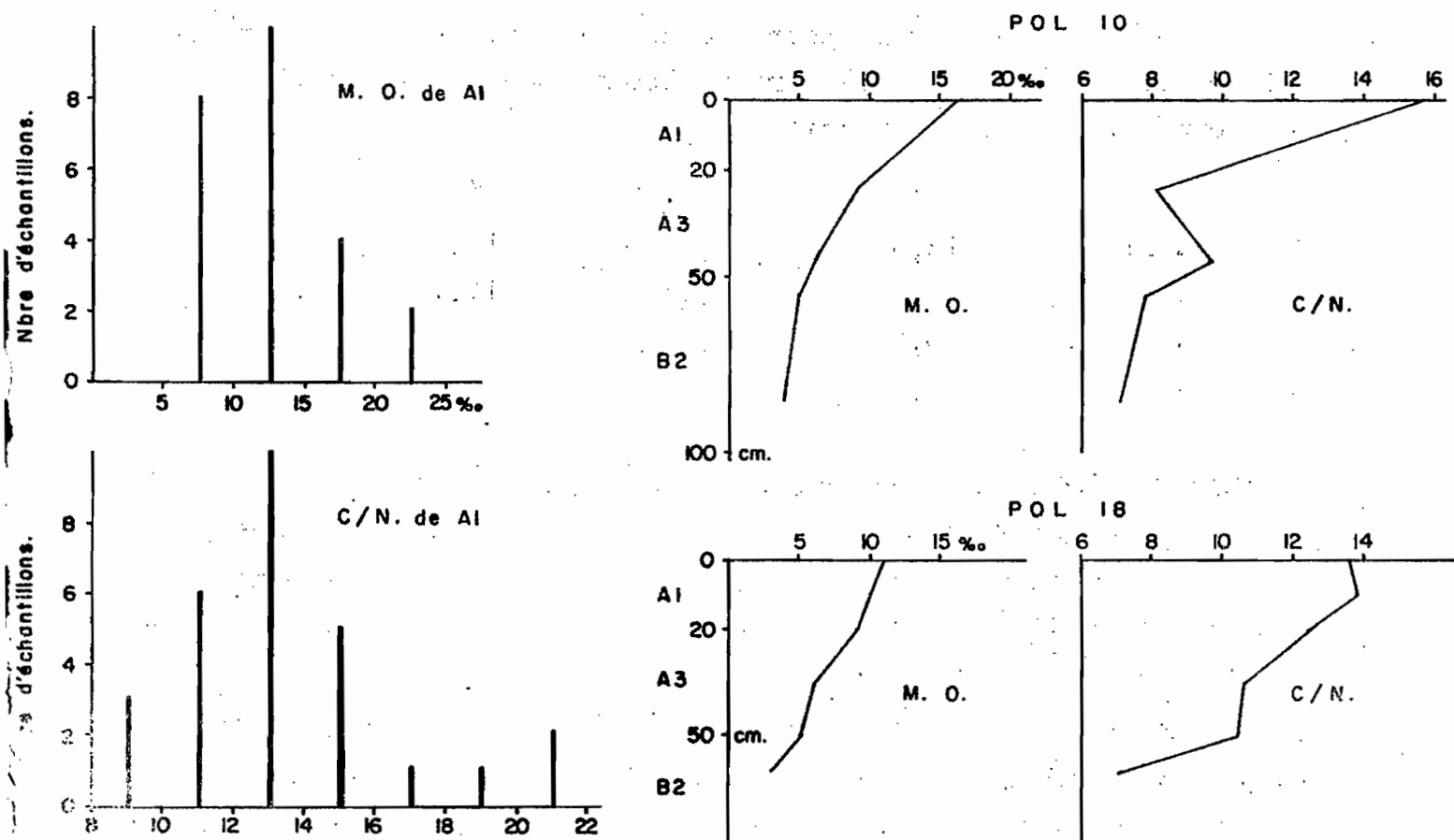


Figure 9 Matière organique.

L'hydromorphie ne se marque donc pratiquement pas, aussi bien sur le taux de matière organique que sur le rapport C/N. Des observations morphologiques nous avaient déjà montré que l'horizon A1 était souvent exempt de toute trace d'hydromorphie et très aéré par la macroporosité due aux vers de terre : il doit donc être le siège d'une bonne activité biologique.

Les teneurs en m.o. et les rapports C/N sont parfois légèrement plus élevés dans les profils à faciès verticale, sans que cela soit une règle générale.

Dans le profil, teneurs en matière organique et rapports C/N décroissent plus ou moins régulièrement avec la profondeur : les chiffres atteints dans l'horizon B2 sont inférieurs à 5 ‰.

de m.o. et à 10 pour le rapport C/N.

Les chiffres moyens pour chaque horizon, bien que leur signification ne soit pas très grande compte tenu de la dispersion des données, sont les suivants :

	M.O. ‰	N ‰	C/N
. A1	12,5	0,58	13,4
. A3	6,5	0,36	11,1
. B1	6,5	0,39	9,7
. B2	4,5	0,32	8,4

3.2.2.2 - Capacité d'échange et bases échangeables.

La capacité d'échange présente d'assez grandes variations puisque les valeurs extrêmes sont de 4 et 28 meq./100 g. mais ses liaisons avec d'autres caractéristiques sont assez nettes mais variables avec les horizons.

Ainsi pour l'horizon A1 il n'y a aucune corrélation entre la capacité d'échange et le taux d'argile, alors que la liaison est moyennement significative avec la teneur en matière organique (fig. 10). La droite de régression a pour équation :

$$\begin{aligned} T \text{ meq./100 g.} &= 0,16 \text{ M.O. } \text{‰} + 5,3 \text{ avec } r = 0,51, \\ t &= 1,12 \text{ pour } N = 24 \end{aligned}$$

La capacité d'échange moyenne de 100 g. de matière organique est d'environ 160 meq.

Au contraire dans les horizons A3 et B il n'y a aucune corrélation entre la capacité d'échange et les teneurs en matière organique, qui sont en général inférieures à 10 ‰, mais la liaison est hautement significative avec les teneurs en argile (fig. 10).

$$\begin{aligned} T \text{ meq./100 g.} &= 0,48 \text{ Arg. } \% + 1,4 \text{ avec } r = 0,79 \text{ et} \\ t &= 3,5 \text{ pour } N = 44. \end{aligned}$$

La capacité d'échange de 100 g. d'argile est d'environ 50 meq. valeur assez élevée qui ne peut s'expliquer que par la présence de minéraux argileux à forte capacité d'échange comme l'illite et la montmorillonite.

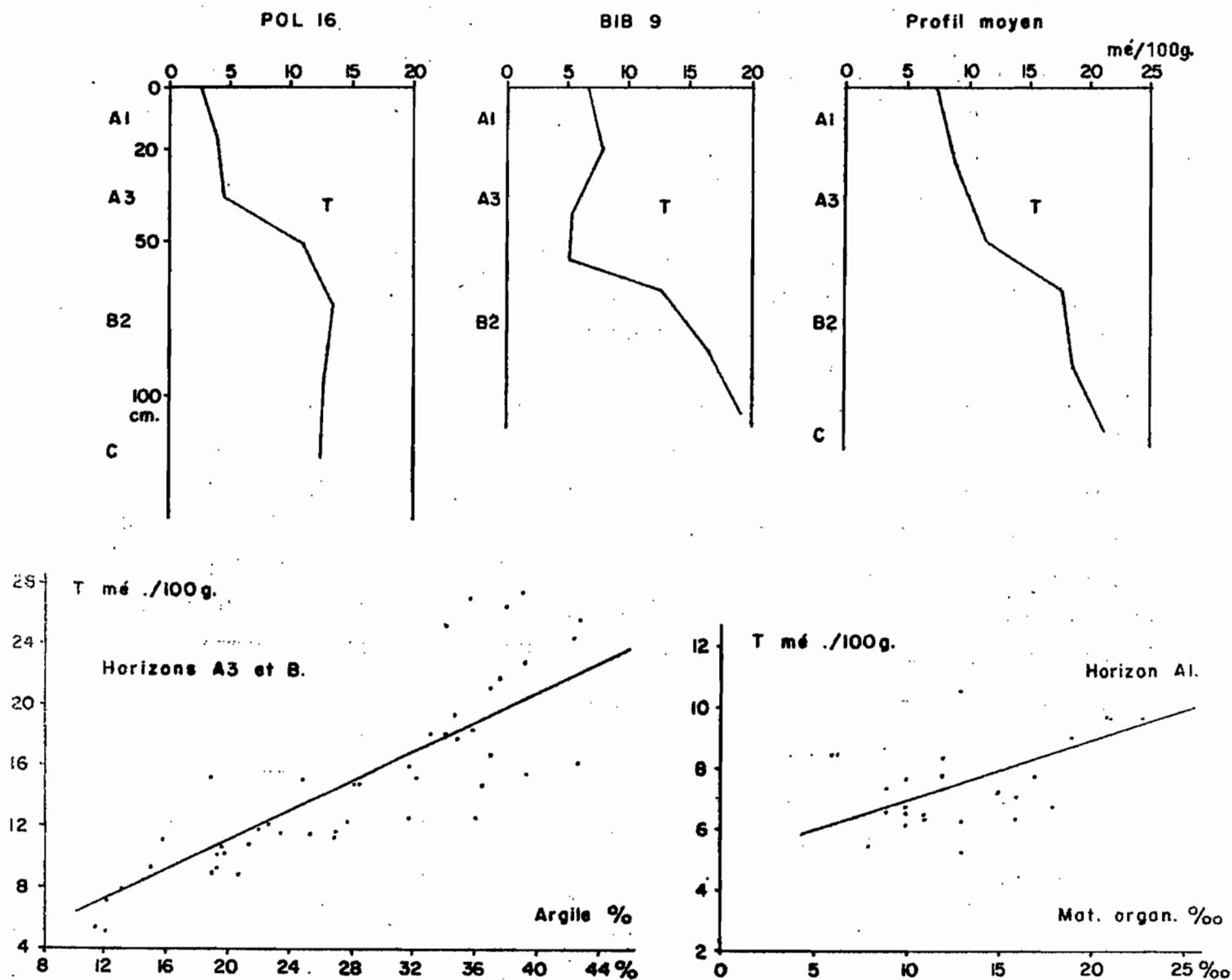


Figure 10 Capacité d'échange

Les variations de T dans le profil sont souvent brutales (fig. 10, profil BIB 9) et sont évidemment en liaison avec les taux d'argile.

L'étude des variations de la somme des bases échangeables présente beaucoup moins d'intérêt, car elle suit d'assez près la capacité d'échange. La répartition des bases échangeables est plus

intéressante : les alcalino-terreux sont très nettement dominants, puisqu'ils constituent 95 à 98 % de la somme des bases; les teneurs en potassium échangeable ne dépassent pas 0,5 meq./100 g. dans l'horizon A; le sodium échangeable est souvent indosable surtout dans l'horizon A, et peut monter exceptionnellement à 0,5 meq./100 g. dans l'horizon B de certains profils.

3.2.2.3 - pH et S/T.

Le pH est faiblement acide dans les horizons A et B et devient généralement neutre à basique dans les horizons BC et C. Les variations du pH dans le profil sont plus caractéristiques que les valeurs absolues pour chaque horizon. Par exemple pour l'horizon A1, l'histogramme de la fig. 11 nous montre une répartition hétérogène : la valeur du pH n'est donc pas une caractéristique essentielle de ces sols; de plus une étude de corrélation montre qu'il n'y a aucune liaison significative entre le pH et respectivement la teneur en argile, la teneur en matière organique et le rapport C/N. Au contraire les courbes de variations de pH dans le profil (fig. 11) sont très semblables: le pH baisse en profondeur jusqu'à la limite A/B et est minimum soit à la base de A soit au sommet de B, puis

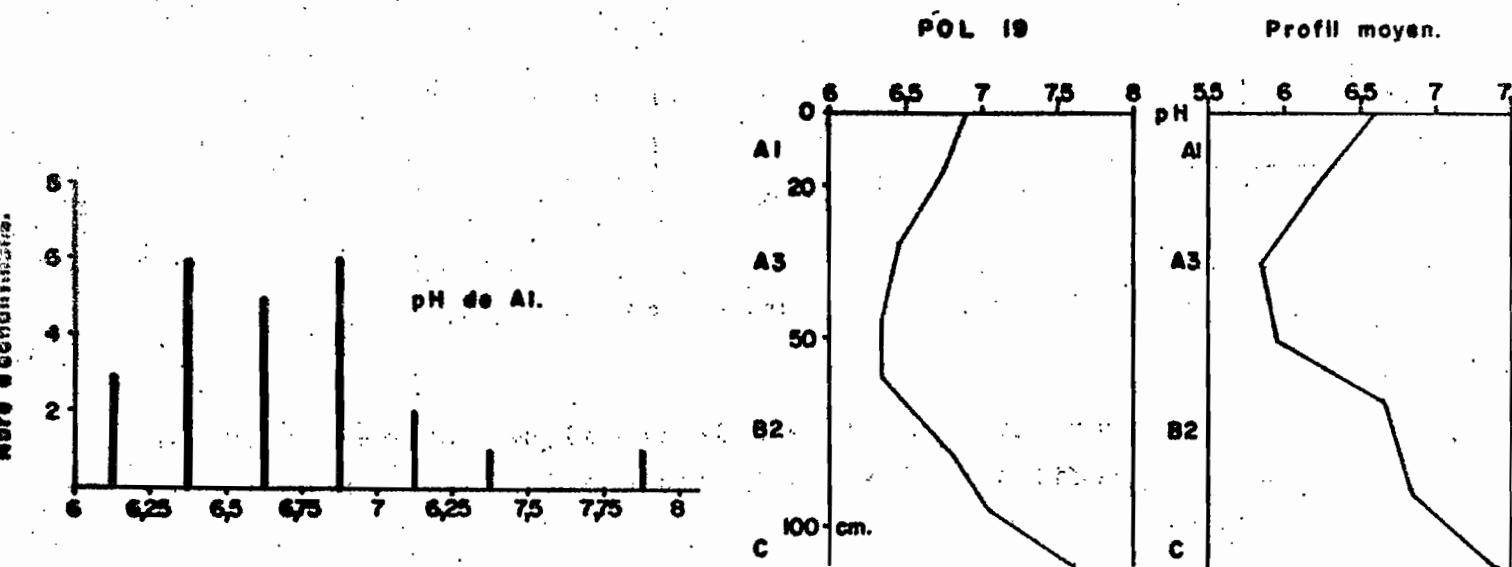


Figure 11 pH

remonte dans tout l'horizon B pour dépasser la neutralité dès qu'apparaît la roche altérée. Le profil moyen, bien que nous ayons déjà dit que les moyennes du pH par horizon ne soient pas très caractéristiques, présente les mêmes variations.

Les deux points importants nous semblent :

- le pH basique de l'horizon C qui favorise la formation de minéraux 2/1.
- le minimum du pH à la limite des deux horizons à caractéristiques très différentes.

Concernant ce dernier point, il est possible que dans cette zone limite A/B, les conditions physico-chimiques (pH et rH_2) et peut-être surtout leurs variations en cours d'année soient telles qu'elles favorisent des modifications minéralogiques sur certains minéraux argileux et en particulier sur la montmorillonite que l'on sait très sensible en milieu acide.

L'étude du rapport S/T et de sa variation dans le profil n'amène aucun fait nouveau, si l'on sait que la liaison entre le pH et le rapport S/T est fortement significative avec une droite de régression d'équation :

$$S/T = 0,12 \text{ pH} + 0,05 \text{ avec } r = 0,71, t > 0,006 \text{ et } N = 77.$$

3.2.2.4 - Réserves minérales (attaque nitrique).

Les réserves minérales reflètent d'une part la relative diversité des roches qui sont à l'origine de ces sols hydromorphes et d'autre part l'altération ménagée qu'elles ont subie : il en résulte que ces réserves sont en même temps appréciables et très variables. Leur total peut en effet varier de 5 à 80 meq./100 g., mais il oscille en général entre 15 et 20 meq./100 g. pour l'horizon A et 35 meq./100 g. pour l'horizon B : cette différence entre les deux horizons traduit une possibilité d'altération dans l'horizon A et une évacuation des bases libérées, ce qui ne serait pas le cas pour l'horizon B.

Les alcalino-terreux sont nettement dominants, principalement le magnésium. En effet celui-ci est en moyenne deux fois et 5 fois plus abondant que le calcium respectivement dans l'horizon A et dans l'horizon B : ce fait tendrait à prouver que la poursuite de l'altération dans l'horizon A porterait particulièrement sur des minéraux riches en magnésium, qui peuvent être aussi bien des minéraux primaires que des minéraux secondaires (argiles). Les chiffres moyens sont les suivants :

	Ca	Mg
	meq./100 g.	
Hor. A	5-8	10-15
Hor. B	5-9	20-40

Les alcalins sont nettement moins représentés et diminuent aussi dans l'horizon A mais dans des proportions beaucoup moins fortes que le magnésium. On peut donner les chiffres moyens suivants :

	K	Na
	meq./100 g.	
Hor. A	1-2,5	0,5-2
Hor. B	1,5-4	1-3

Le phosphore est peu représenté : les teneurs moyennes sont

de l'ordre de 0,25 ‰ dans l'horizon A et 0,15 ‰ dans l'horizon B.

3.2.2.5 - Fer total et fer libre.

Les teneurs en fer total ne sont jamais très élevées et sont variables avec les profils et les horizons : elles oscillent entre 1 et 3 % pour l'horizon A et 2 et 6 % pour l'horizon B. Il en est de même pour les teneurs en fer libre : 0,5 à 2 % dans l'horizon A, 1 à 3 % dans l'horizon B.

Les variations dans le profil sont en général régulières et montrent une augmentation en profondeur des teneurs aussi bien de fer libre que de fer total. Excepté pour le profil BIB. 5 (fig. 7)

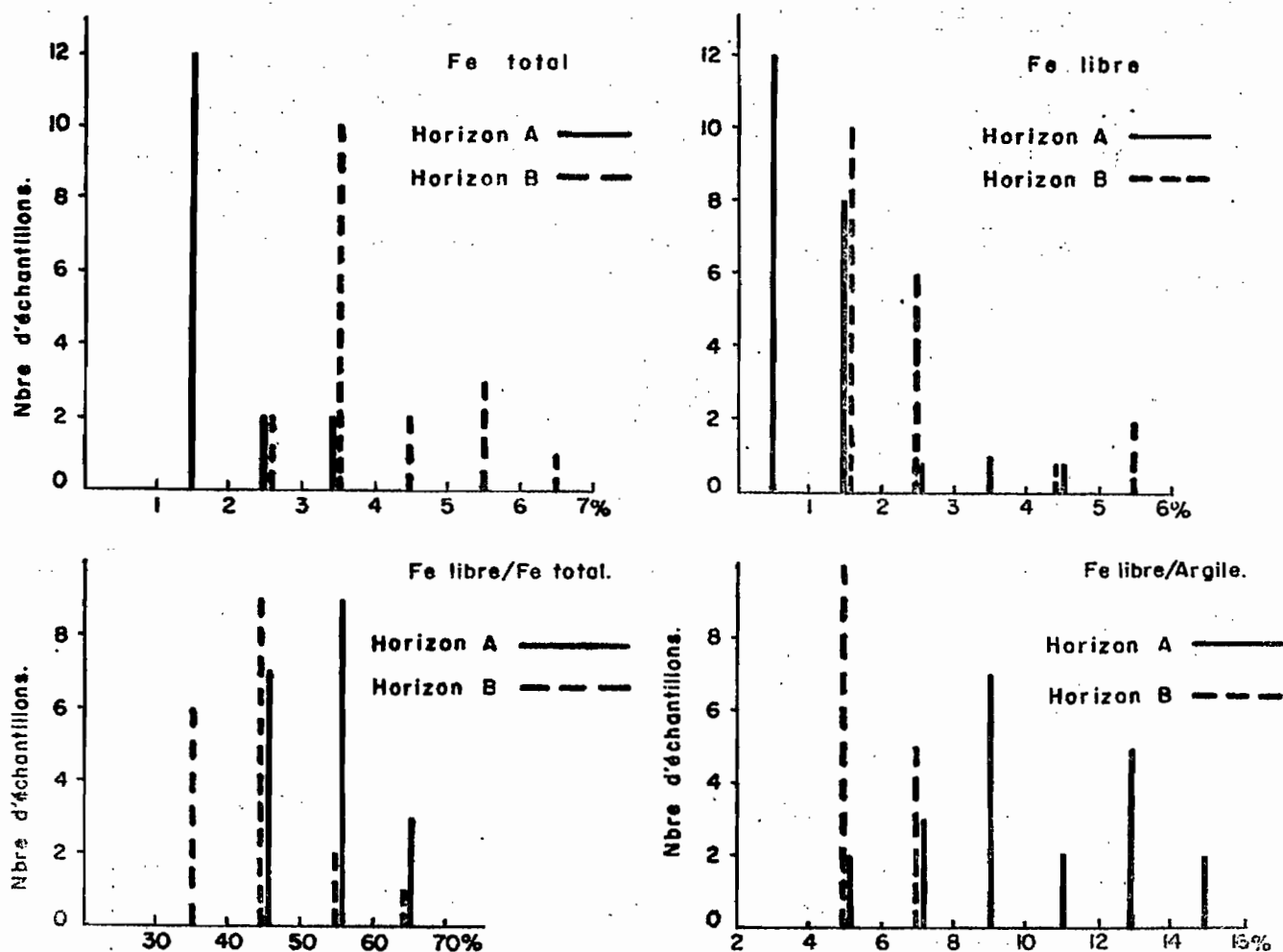


Figure 12 Fer libre et total.

on ne décèle aucune accumulation absolue de fer, mais uniquement un lessivage à partir de l'horizon A. Le passage de l'horizon B à l'horizon C peut se signaler par des variations aussi bien en plus qu'en moins, sans que l'on puisse mettre formellement en cause soit une accumulation relative de fer soit une légère variation dans la composition chimique de la roche-mère.

Les différences déjà décelées entre les horizons A et B pour le fer total et le fer libre sont encore plus nettes pour les rapports Fer libre/Fer total et Fer libre/Argile, bien que non parfaitement significatives du point de vue statistique mais cependant bien visibles sur les graphiques (fig. 12) : rapports Fe libre/Fe total compris entre 40 et 70 % pour A et inférieur à 50 % pour B ; rapport Fe libre/Argile compris entre 8 et 14 % pour A et inférieur à 8 % pour B. Tout ceci montre bien le partage du sol entre deux horizons à pédogénèse divergente : un horizon A actif d'où le fer peut-être éliminé mais où il peut aussi jouer son rôle d'améliorant de la structure, un horizon B peu actif où le fer ne peut migrer et où il n'est pas en quantité suffisante pour empêcher les minéraux argileux gonflants de jouer leur rôle dans la formation du pseudo-gley.

3.2.3 - Caractéristiques minéralogiques.

3.2.3.1 - Analyse chimique.

L'analyse triacide de la fraction argileuse a été effectuée sur 5 profils : les chiffres ne présentent que peu de variations dans le profil mais sont souvent assez différents entre profils. Le tableau 6 reproduit les intervalles de variations des principaux rapports caractéristiques pour les 5 profils.

TABLEAU 6 - Analyse triacide de l'argile.

Profils	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃	Fer libre/Fer total
POI 5	2,3 à 2,75	1,85 à 2,25	

POL 11	: 3,1 à 3,2	: 2,2 à 2,5	: 0,38 à 0,62
BIB 5	: 2,35 à 2,75	: 2 à 2,2	
RBA 4	: 2,9 à 3,35	: 2,2 à 2,6	
RBA 6	: 3,2 à 3,65	: 2,35 à 2,55	: 0,41 à 0,54

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est compris entre 2,3 et 3,65, donc nettement supérieur à 2 : il est le plus faible pour les profils à lessivage accentué et accumulation d'argile (BIB 5) et le plus élevé pour les sols présentant morphologiquement un caractère vertique (RBA 6). La fraction argileuse contient certainement une proportion appréciable de minéraux 2/1 et les valeurs du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sont à peu près intermédiaires entre celles des sols ferrugineux tropicaux et celles des vertisols lithomorphes.

Les variations dans le profil du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ne sont pas significatives : nous avons déjà vu cependant (par. 3.1.4.2) que le profil BIB 5 présentait un minimum assez net au sommet de l'horizon B. Pour les autres profils, il y a une légère tendance à l'augmentation du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en profondeur.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ est compris entre 1,85 et 2,55, tandis que la teneur en fer total oscille entre 8 et 15 % : si l'on rappelle les chiffres moyens des sols rouges tropicaux (D. Martin et al., 1966) ($\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ inférieur à 2 et 15 à 20 % de fer total), on s'aperçoit que comme pour la terre totale, la fraction argileuse des sols hydromorphes est nettement moins riche en fer. Cependant, et comme pour les sols rouges tropicaux, moins de 50 % du fer est sous forme libre et le reste doit être engagé en partie dans le réseau des argiles. Une étude récente (Trauth et al., 1967) a d'ailleurs montré que les minéraux déterminés comme montmorillonite dans les vertisols lithomorphes étaient ferri-fères et appartenaient aux familles de la beidellite et de la nontronite : ces types d'argile doivent être les formes normales des minéraux gonflants à 14A dans tous les sols à altération bisiallitique (Pedro, 1966) ou en partie bisiallitique du nord-Cameroun (vertisols

lithomorphes, sols rouges tropicaux, sols hydromorphes à pseudo-gley lithomorphes, sols halomorphes lithomorphes).

3.2.3.2 - Capacité d'échange.

Quelques mesures de capacité d'échange (Susini, 1964) ont été effectuées sur la fraction inférieure à 2μ (voir tableau 7). Les chiffres sont assez variables et oscillent entre 17 et 72 meq./100 g. mais en fait 75 % des valeurs sont comprises entre 25 et 50 mé./100 g. Ces valeurs sont assez proches de celles connues pour les sols rouges tropicaux (30 à 50 mé./100 g), mais inférieures à celles des vertisols lithomorphes (supérieures à 50 mé./100 g) et nettement supérieures à celles présumées pour les sols ferrugineux tropicaux (sans doute inférieures à 20-25 mé./100 g). La présence d'un minéral à forte capacité d'échange du type montmorillonite est donc vraisemblable.

TABLEAU 7 - Capacité d'échange de l'argile.

Echan- tillon	T. mesurée/ 100g. d'A.	T. calculée pour 100g. d'A.	Echan- tillon	T. mesurée pour 100g. d'A.	T. calculée pour 100g. d'A.
BIB 51:	25,1	68,7	POL 111:	22,5	71,4
52:	28,3	85,1	112:	30,4	48,9
53:	17,2	30,6	113:	43,3	52,3
54:	18,7	35,2	114:	31,5	57,5
55:	26,2	40,1	115:	72,6	58,2
56:	20,6	51,7	KEB 91:	28,9	37,2
BIB 32:	48,2	82,0	92:	27,4	41,0
33:	51,1	90,2	93:	39,8	44,7
34:	49,5	76,0	94:	33,1	63,8

Le calcul de la capacité d'échange par rapport aux teneurs en argile ($T/A \times 100$ en mé.) donne des chiffres encore plus élevés,

surtout pour les horizons organiques, mais plus sujets à caution.

Les variations dans le profil, aussi bien pour les valeurs mesurées que calculées, ne sont en général pas significatives, sauf pour le profil BIB 5 (voir par. 3.1.4.2).

3.2.3.3 - Analyse thermodifférentielle.

Des courbes d'A.T.D. ont été effectuées sur la fraction argileuse de plusieurs profils : la fig. 13 en sélectionne quelques unes pour des horizons variés de plusieurs profils. Ces courbes sont toutes assez voisines les unes des autres. Il faut noter l'importance du crochet endothermique entre 100 et 200° indice de la présence d'un minéral 2/1 de type montmorillonite. De même la kaolinite est bien mise en évidence par le crochet endothermique à 580° et un crochet exothermique plus ou moins bien caractérisé à

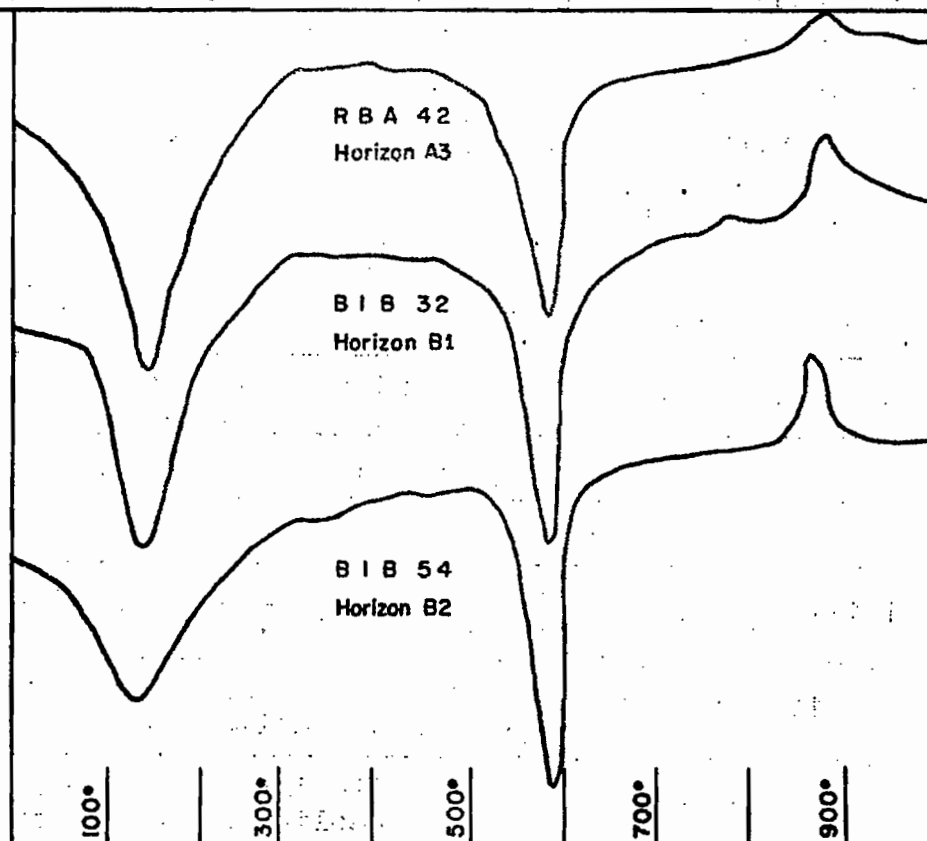


Figure 13 Analyse thermodifférentielle.

880-900°. On notera que pour l'échantillon BIB 54 le crochet de la montmorillonite est moins important et ceux de la kaolinite plus importants que pour les deux autres échantillons : si le pourcentage des différents types d'argile n'est pas le même selon les profils, les variations dans le profil sont beaucoup plus difficiles à déceler.

3.2.3.4 - Rayons X.

L'étude aux rayons X de la fraction argileuse de 3 profils confirme en les précisant les résultats obtenus par d'autres méthodes.

La fraction argileuse de ces sols hydromorphes est caractérisée par la présence simultanée des trois minéraux argileux : kaolinite, illite et montmorillonite. Leur importance relative est variable selon les profils et parfois dans le profil comme dans le profil BIB 5 (par. 3.1.4.2). L'importance de la montmorillonite augmente dans les sols à faciès vertique (profil RBA 6). On retiendra surtout la présence, dans tous les horizons des profils, de la montmorillonite, minéral argileux gonflant.

TABLEAU 8 - Rayons X.

Profil	Echantillons	Minéraux argileux
BIB 5	51, 52	Montmorillonite, kaolinite, illite (à peu près égale). Un peu de goethite.
	53, 54	Kaolinite, illite, montmorillonite.
	55, 56	Montmorillonite et kaolinite (égale). Illite.
POL 11	111, 112, 113	Montmorillonite, illite, kaolinite. Traces de goethite.
	114, 115	Montmorillonite importante bien cristallisée. Illite, kaolinite.
RBA 6	61, 62, 63	Montmorillonite importante bien cristallisée. Peu de kaolinite et d'illite.
	64, 65, 66	Montmorillonite importante bien cristallisée. Peu de kaolinite, traces d'illite.

3.3 - Essai d'explication de la pédogénèse et classification.

3.3.1 - Principaux critères de caractérisation.

L'étude détaillée de quatre profils puis des caractéristiques générales permet de faire une bonne caractérisation de ces sols hydromorphes :

- sols à profil ABC formé sur roche granitique ou métamorphique relativement basique mais pauvre en fer, dans des conditions de drainage externe normal sur des paysages récents formés de collines à pente moyenne à faible et à profil plutôt convexe : l'épaisseur A + B est comprise entre 1 et 1,5 m, l'horizon C peut être beaucoup plus épais.

- horizon A nettement lessivé en argile et en fer et à forte activité biologique dans sa partie supérieure et nets indices d'hydromorphie à sa partie inférieure.

- passage à l'horizon B toujours brutal ou tranché, parfois souligné par un lit de cailloux et marqué par un brusque changement de structure et parfois de texture.

- horizon B à pseudo-gley typique à taches et concrétions, à structure massive parfois prismatique dans ses premiers centimètres, à faible porosité et forte consistance.

- plus que les valeurs absolues, sont caractéristiques les variations dans le profil de la granulométrie, du pH, des teneurs en fer libre et total et des rapports Fe libre/Fe total et Fe libre/Argile.

- fraction argileuse formée d'un mélange de minéraux 1/1 (kaolinite) et 2/1 (illite et montmorillonite) : rapport SiO_2/Al_2O_3 supérieur à 2,3, rapport Fer libre/Fer total compris entre 40 et 60 %, capacité d'échange comprise entre 25 et 50 mé./100 g.

3.3.2 - Principaux processus de pédogénèse.

Les principaux processus en cause dans la formation de ces sols sont la synthèse argileuse, l'action de l'hydromorphie et le

lessivage. L'action de la matière organique paraît faible.

3.3.2.1 - Synthèse argileuse.

La synthèse argileuse commence dès l'horizon C en milieu non hydromorphe (présence de fer oxydé) mais riche en bases par percolation insuffisante (pH basique) : les conditions sont favorables à la formation de minéraux 2/1 dont la montmorillonite. Cette synthèse se poursuit dans les horizons BC et B en milieu hydromorphe (présence de fer réduit) et à pH faiblement acide ou neutre. Le résultat final est un mélange à trois constituants principaux (kaolinite, illite et montmorillonite).

Cette altération ménagée ou incomplète est au départ essentiellement liée au climat et à la roche-mère : percolation insuffisante pour évacuer les bases libérées par l'hydrolyse, sous l'action des eaux chaudes du climat tropical, de roches relativement basiques. Par la suite la formation même du sol, en créant un horizon peu perméable qui va favoriser le ruissellement superficiel ou subsuperficiel, ne peut qu'accentuer cette insuffisance de percolation. Ce type d'altération, que l'on peut considérer comme climatique, semble le processus pédogénétique le plus important, car il influe fortement sur la suite de la pédogénèse. Dû en partie au type de roche-mère sur laquelle on l'observe, ce type d'altération justifie l'appellation générale de "lithomorphe" que nous avons donnée à ces sols.

3.3.2.2 - Hydromorphie.

L'hydromorphie est un autre processus important : elle marque morphologiquement presque tout le profil à partir de l'horizon A3 et surtout l'horizon B qui est un pseudo-gley typique; les taches rouilles peuvent apparaître dès l'horizon A1; les taches et concrétions d'oxydes de fer et de manganèse sont toujours présentes dans l'horizon B et fréquentes dans l'horizon A3.

Deux facteurs principaux sont à l'origine de l'hydromorphie:

- la présence d'un minéral argileux gonflant du type mont-

morillonite diminue fortement la perméabilité de l'horizon B dès qu'il est atteint par l'eau d'infiltration : l'horizon très peu poreux naturellement et suffisamment argileux, subit une asphyxie totale pendant une grande partie de l'année.

- l'insuffisance quantitative du fer pour pallier aux effets néfastes de la montmorillonite. Une comparaison avec les sols rouges tropicaux récemment étudiés dans une région voisine mais plus sèche (800 à 1000 mm) est particulièrement instructive (D. Martin et al., 1966).

	Fraction argileuse.		T e r r e t o t a l e.		
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	- Capacité d'échange mé./100 g.	Fe libre %	Fe total %	Fe libre/Argile. %
Sols rouge tropicaux.	2,4 à 2,6	30 à 50	3 à 6,5	6 à 14	12 à 16
Sols hydro-					8 à 14
morphes li-	2,3 à 3,6	25, 50	0,5 à 3	1 à 6	pour A.
thomorphes.					8 pour B.

Pour une composition minéralogique voisine à base de kaolinite, illite et montmorillonite attestée par l'identité des indices globaux SiO₂/Al₂O₃ et capacité d'échange de l'argile, il faut noter la divergence très nette entre ces deux types de sols, concernant aussi bien les teneurs absolues en fer libre et fer total que le rapport Fe libre/Argile : la différence est surtout nette pour l'horizon B des sols hydromorphes.

Dans les sols rouges tropicaux, le fer en quantité suffisante doit jouer un rôle protecteur vis-à-vis de la montmorillonite, empêcher le gonflement de celle-ci et conserver ainsi au sol un excellent drainage interne. Au contraire dans les sols hydromorphes l'insuffisance quantitative du fer ne lui permet pas de jouer ce rôle et l'hydromorphie s'installe naturellement.

3.3.2.3 - Lessivage.

Le lessivage est lui aussi un processus particulièrement important et on ne sait s'il faut lui donner plus ou moins d'importance qu'à l'hydromorphie. Morphologiquement il se marque davantage par la présence d'un important horizon lessivé que par l'existence d'un net horizon d'accumulation.

Le lessivage est particulièrement net dans l'horizon A mais il présente des caractéristiques particulières. Dans la plupart des descriptions de profils nous n'avons pas cru devoir utiliser la notation A2, parce qu'aucun horizon ne paraît correspondre à la définition d'un tel horizon (éclaircissement de la couleur, diminution du taux d'argile, augmentation de la porosité et disparition de la structure). Au contraire l'horizon A3 présente toutes les caractéristiques d'un horizon de passage à l'horizon B : augmentation de la teneur en argile et de la consistance, diminution de la porosité. D'après les caractéristiques physico-chimiques (granulométrie, fer) c'est toujours l'horizon A1 qui est le plus lessivé, aussi peut-on se demander s'il ne faut pas envisager un horizon A2 diffus dans cet horizon à très forte porosité par action des vers de terre.

De même l'horizon B n'est souvent pas un horizon B stricte sensu, car il est difficile d'y déceler un apport réel d'argile : c'est surtout un horizon dû à la synthèse argileuse, qui a commencé dans l'horizon C et se poursuit dans l'horizon B. Cependant l'existence de divers modes de transition entre A et B (augmentation progressive ou tranchée de la teneur en argile) indique une possibilité de différenciation : une transition tranchée, souvent liée à l'apparition d'un début de structure prismatique serait l'indice d'une accumulation au sommet de B; dans le cas de transition graduelle l'accumulation serait très diffuse ou nulle.

L'apparition du lessivage et surtout l'importance de l'horizon lessivé paraissent liées à la présence de vers de terre. Quel serait le rôle exact de ceux-ci ? Leur rôle ne serait en fait qu'indirect d'ameublissement et d'aération du sol :

- l'ameublissement du sol facilite la pénétration de l'eau et sa percolation à travers tout l'horizon supérieur du sol.

- l'aération favorise une forte activité biologique dans le sol pendant la période de non engorgement de l'horizon supérieur, en particulier au début et à la fin de la saison des pluies, avec tout ce que cela peut comporter concernant la formation d'acides humiques, les variations du pH et les conditions d'oxydo-réduction.

L'action du lessivage ne peut être complètement dissociée de celle de l'hydromorphie :

- l'imperméabilité de l'horizon B facilite l'engorgement de l'horizon A pendant la période la plus pluvieuse de l'année.

- l'engorgement de A agit en particulier sur les conditions d'oxydo-réduction, ce qui facilite le lessivage du fer.

L'action du lessivage ne s'exercerait certainement pas de façon aussi nette, si, à la percolation verticale pratiquement faible, ne s'ajoutait la possibilité de migration oblique de l'eau, de l'argile et du fer par ruissellement superficiel ou à la limite A/B : le drainage externe toujours assuré et l'absence à peu près générale de concavité à la base des collines n'empêchent jamais une telle action de s'exercer. L'accumulation s'exerce donc surtout obliquement et, si elle est évidemment plus facile en bas de pente, une évacuation partielle des produits lessivés par le réseau de drainage, en particulier du fer qu'on ne voit jamais s'accumuler de façon très visible, est toujours possible.

Ces caractéristiques du lessivage sont, somme toute, assez différentes de celles des sols ferrugineux tropicaux lessivés. Dans ceux-ci l'hydromorphie, quand elle existe, n'apparaît que comme stade ultime d'évolution d'un sol dans lequel l'accumulation a accentué la différenciation du sol en deux horizons tranchés; au contraire dans les sols hydromorphes, que nous étudions ici, l'hydromorphie est antérieure au lessivage et provoquée par la nature même du matériau d'altération. L'absence d'accumulation du fer par suite de l'absence de concavité basale des collines est

aussi une importante différence avec les sols ferrugineux tropicaux lessivés.

3.3.3 - Corrélations avec d'autres pays.

Des sols voisins de ceux que nous venons d'étudier ne semblent pas très fréquents en Afrique : il est vraisemblable qu'il en existe au Tchad mais ils n'ont pas la même extension qu'au Cameroun et ils n'ont peut-être pas été classés de la même manière.

Au Togo Lamouroux (1964) signale des sols ferrugineux tropicaux hydromorphes qui paraissent assez voisins des sols hydromorphes lithomorphes : partage du profil en deux horizons différenciés, importance de l'hydromorphie et présence de montmorillonite dans l'horizon B associé à des rapports SiO_2/Al_2O_3 supérieur à 2,4.

De même la Carte des sols d'Afrique au 1/5.000.000e (D'Hooze, 1964) comprend des sols lessivés (Highveld pseudo-podzolic soils), qui sont étudiés en Afrique du Sud mais sont aussi signalés au Kenya et en Afrique du Nord : ce sont donc plutôt des sols de climats tempérés ou subhumides. Le profil est différencié en deux horizons très tranchés : A meuble et friable à moins de 20 % d'argile; B textural argileux à structure polyédrique à prismatique et présence de pseudo-gley. Illite et montmorillonite sont présentes dans l'horizon B. Comme au Togo le passage est fréquent à des sols halomorphes, en particulier à des solonetz et solonetz solodisés.

Dans la zone tempérée ces sols pourraient s'apparenter aux sols lessivés hydromorphes qui font partie du groupe lessivé de la sous-classe des sols tempérés à mull : ces sols lessivés sont caractérisés par un élargissement de la structure en B s'accompagnant de la présence de taches et concrétions d'oxyde de fer et manganèse. (Aubert. 1965).

3.3.4 - Place dans la classification.

Des études et discussions précédentes nous pouvons résumer

ainsi la pédogénèse de ces sols :

- l'altération ménagée d'une roche relativement basique conduit à la formation de montmorillonite entre autres minéraux argileux.

- la faible proportion de fer dans la roche-mère ne peut empêcher le gonflement de la montmorillonite, ce qui va provoquer des phénomènes d'hydromorphie, qui vont se traduire par l'apparition de pseudo-gley et de concrétions rouilles et noires.

- l'action des vers de terre, en provoquant et accentuant le lessivage des horizons supérieurs, va différencier le profil en deux horizons à caractéristiques très différentes, ce qui va orienter l'économie de l'eau dans le sol dans un sens qui ne peut que favoriser l'hydromorphie.

Dans le cadre de la classification française actuelle on est conduit à classer ces sols comme sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley. L'action de lessivage en argile et en fer, provoquée au départ, semble-t-il, et accentué par l'action des vers de terre, est trop importante pour ne pas être utilisé comme critère de classification : cela conduit à créer dans le groupe des sols à pseudo-gley un sous-groupe lessivé, sans préjuger des divers processus qui peuvent provoquer ce lessivage et en adoptant comme définition du terme "lessivé" une acceptation assez large pour ne pas rendre obligatoire une accumulation visible.

L'étude de nombreux profils a montré l'existence de processus secondaire, qui peuvent être utilisés au niveau du faciès. On aurait ainsi la classification suivante :

CLASSE	SOLS HYDROMORPHES.
SOUS-CLASSE	Sols hydromorphes minéraux.
GROUPE	Sols à pseudo-gley.
SOUS-GROUPE	Sols à pseudo-gley lessivés.
Faciès modal	Profil POL 11, POL 18.
Faciès à début de structure dégradée	Profil BIB 9.
Faciès vertique	Profil RBA 6, POL 16.
Faciès à accumulation d'argile	Profil BIB 5.

Cette classification n'est cependant pas entièrement satisfaisante, aussi bien par la place importante accordée à l'hydromorphie, que par celle moindre accordée au lessivage. Il est vraisemblable que les pédologues américains (U.S.D.A, 1964-67) classeraient de tels sols comme alfisols, et plus exactement comme tropaqualfs, tandis que les sols ferrugineux tropicaux lessivés doivent se partager entre ultisols et alfisols, la classification américaine accordant une place importante au lessivage et à l'existence d'un horizon argilique. Aussi peut-on se demander s'il ne sera pas nécessaire de donner une importance particulière au lessivage sous climat tropical, comme c'est le cas dans la zone tempérée, et à diminuer l'importance de l'hydromorphie, de l'individualisation du fer et de l'halomorphie pour regrouper tous les sols lessivés tropicaux dans une catégorie à créer à un niveau élevé de la classification : les principaux types connus de sols lessivés tropicaux seraient les sols ferrugineux tropicaux lessivés, les sols hydromorphes à pseudo-gley lessivés et les sols halomorphes lessivés. Sur le terrain ces sols sont d'ailleurs souvent liés génétiquement comme va le montrer l'étude de toposéquences.

4 - ETUDE DE TOPOSEQUENCES.

L'étude porte sur trois toposéquences : nous avons adopté le terme de toposéquence, bien qu'il ne soit pas parfaitement adapté, car, comme nous le verrons plus loin, il peut s'agir aussi bien de juxtaposition que de chaîne de sols proprement dite.

4.1 - Toposéquence Tetté.

4.1.1 - Généralités.

Cette toposéquence est étudiée à 10 km au nord de Fignolé, près du village de Tetté, le long de la route de Djoumté. La pluviométrie, assez élevée, doit être voisine de 1.300 mm avec une température moyenne de 26°. La végétation naturelle est une savane arborée et arbustive parfois dense et variée, où domine cependant *Anogeissus leiocarpus*.

Entre les importants massifs granitiques de Fignolé et Djoumté le paysage est parfaitement aplani et constitué d'une succession de collines basses découpées par un réseau hydrographique bien hiérarchisé. La colline étudiée s'étend entre deux petits mayos : au sud le mayo a 3 à 4 m de large et est enfoncé de 1 à 2 m, le fond du mayo est essentiellement formé de sable grossier et graviers, quelques roches dures affleurent par place, les flancs du mayo montrent souvent la roche altérée à vif; au nord un petit affluent à peine marqué et qui traverse la route rejoint un mayo de 6 à 8 m de large et enfoncé de 1,5 à 2 m, l'aspect du fond et des flancs du mayo est le même que précédemment.

La colline est légèrement asymétrique et a une quinzaine de mètres de dénivellation. La pente moyenne est de 3 % sur le flanc sud et 2 à 2,5 % sur le flanc nord; elle est plus ou moins régulière, mais les variations sont difficiles à préciser et il n'a pas été possible de déceler si la pente, de convexe au sommet de la colline, devenait concave près des axes de drainage, en particulier sur le flanc nord.

La roche-mère de l'ensemble de la colline est une roche métamorphique bien litée du type embréchite et paraissant moyennement à peu riche en minéraux ferromagnésiens. Cette embréchite est traversée de filons de microgranite (roche rose entièrement quartzofeldspathique) dont on voit fréquemment des blocs en surface ou dans certains profils. De rares blocs de roche sombre sont également visibles. Mais il semble que les affleurements de ces roches filoniennes sont sans commune mesure avec leur extension réelle et il faut considérer les sols comme essentiellement formés à partir du fonds embréchitique.

4.1.2 - Les sols.

Les sols sont en majorité des sols hydromorphes à pseudogley lessivés.

4.1.2.1 - Sols hydromorphes à pseudo-gley lessivés.

Le profil POL 18 étudié en détail (par. 3.1.2) est situé en bas de pente de la toposéquence. Parmi les autres profils on peut donner schématiquement les descriptions et les caractéristiques des profils POL 16 et POL 19.

P O L 16.

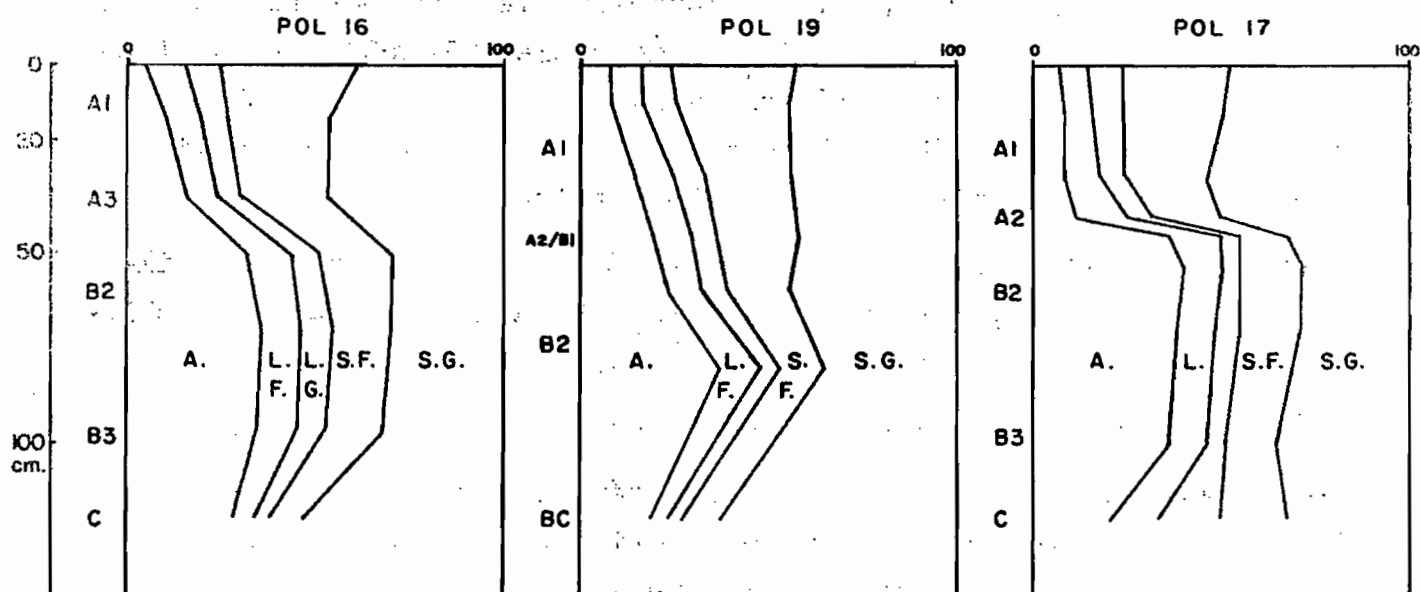
Observé sur le flanc sud de la colline.

- 0 - 22 cm. A1 gris, peu ou pas tacheté, sable fin peu argileux, très forte macroporosité de vers de terre.
- 22 à 40 cm. A3 brun gris de plus en plus tacheté et marbré de rouille, un peu plus argileux, porosité ordinaire, quelques concrétions noires.
- 40 à 42 cm. Petit lit de quartz et concrétions noires.
- 42 à 85 cm. Passage brutal à l'horizon B2 de pseudo-gley argilo-sableux, d'abord à structure prismatique moyennement développée sur 10 cm puis à structure en plaquettes par nombreuses faces de glissement.
- 85 à 105 cm. B3, gris à brun gris, argilo-sableux, massif, dur.
- 105 cm. Horizon BC puis C d'altération d'une embréchite; présence de quelques petits nodules calcaires.

La fig. 14 rend bien compte des principales caractéristiques du profil : variation assez brutale de la granulométrie au passage entre les horizons A et B, net minimum du pH au sommet de B, pH basique des horizons BC et C. Il faut noter l'absence presque complète de sodium échangeable sur le complexe absorbant : 0,06 mé./100 g, soit la limite de sensibilité du dosage, dans tout le profil.

D'après sa morphologie le profil est nettement à placer dans le faciès vertique.

Granulométrie



pH

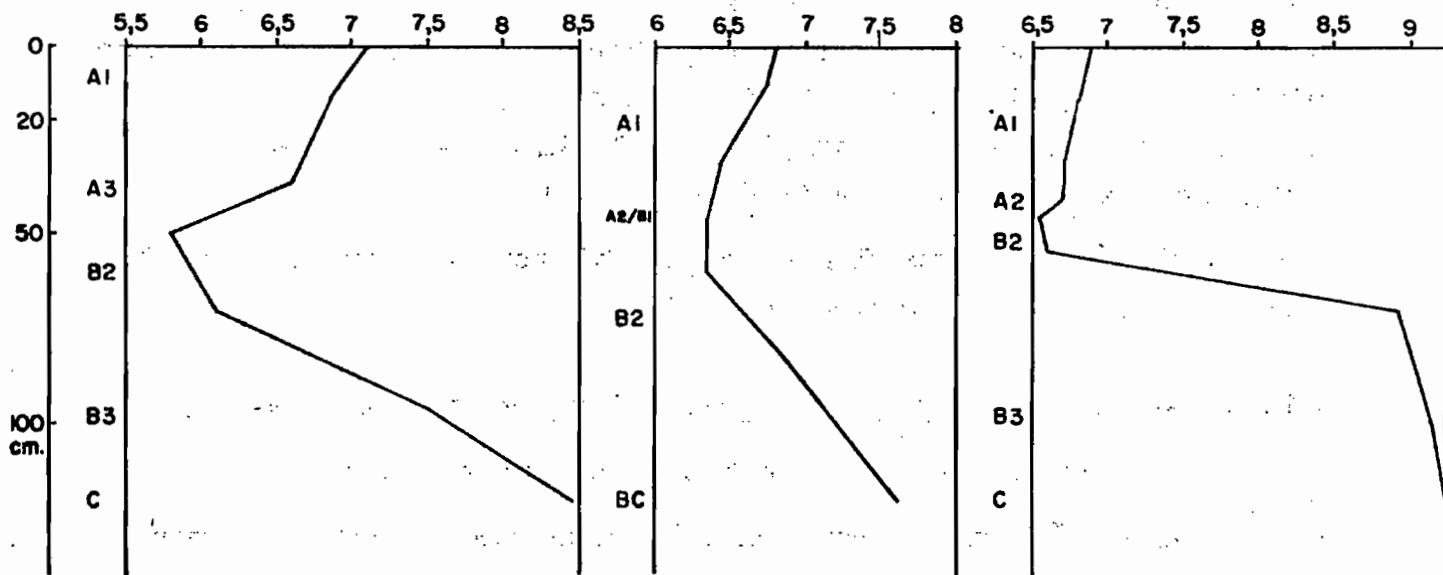


Figure 14

P O L 19.

Observé en sommet de collines.

0 à 40 cm. A1 gris à brun-gris, légèrement tacheté de rouille à sa partie inférieure, très forte macroporosité de vers de terre sur 30 cm.

- 40 à 50 cm. Horizon à caractère complexe, bigarré gris clair à brun pâle, mais à caractère lessivé par la présence d'une fine pellicule de sables blanchis à la surface de macro-agrégats durs.
Discontinuité avec l'horizon suivant par une ligne de petits graviers de quartz.
- 50 à 90 cm. B2 de teinte grise (10 YR à 2,5 Y) à taches rouillées, à nette structure prismatique sur 25 cm, sablo-argileux à argilo-sableux.
- 90 à 100 cm. B3, sablo-argileux, massif.
- 100 cm. Horizon BC puis C d'altération d'une embréchite à fer réduit ou oxydé variable par place; quelques petits points calcaires.

Les variations de la granulométrie sont moins accusées que dans le profil précédent : le passage de A à B est graduel et on note un net maximum d'argile dans l'horizon B2. Le pH est toujours minimum à la limite A/B et basique dans l'horizon BC. Le sodium est devenu dosable à la base du profil (0,2 à 0,3 mé./100 g) sans qu'il soit en excès (Na/Ca inférieur à 0,02).

D'après sa morphologie, ce profil pourrait entrer dans le faciès à début de structure dégradée.

4.1.2.2 - Sols hydromorphes à redistribution du calcaire.

Les profils se présentent schématiquement ainsi :

- 0 à 25 cm. A1 gris à brun gris, à forte macroporosité de vers de terre.
- 25 à 40 cm. A3 brun gris, fortement tacheté de rouille, un peu plus argileux, petites concrétions noires.
- 40 à 90 cm. B2 brun gris bigarré, nettement plus argileux, à début de structure prismatique plus ou moins marqué, petites concrétions noires et apparition des nodules calcaires de plus en plus nombreux en profondeur à partir de 60 cm.

- 90 cm. Horizon BC et C d'altération d'une embréchite pauvre en ferro-magnésien.

Le profil ne diffère pas fondamentalement de celui des sols hydromorphes à pseudo-gley lessivés, si ce n'est par la présence de nodules calcaires en profondeur. Dans l'état actuel de la classification un tel profil est à classer dans le groupe des sols hydromorphes minéraux à redistribution de calcaire.

L'importance du lessivage oblige, comme pour les sols hydromorphes à pseudo-gley, à créer un sous-groupe lessivé.

4.1.2.3 - Sols halomorphes.

Le profil POL 17 (voir photo n°) est un bel exemple de solonetz solodisés, comme le montre la description schématique suivante.

P O L 17.

Observé sur le flanc nord de la colline.

0 à 40 cm. A1 brun gris foncé, sableux, forte macroporosité de vers de terre jusqu'à 25 cm, puis nettement tacheté de rouille.

Discontinuité par ligne de petites concrétions noires et de graviers de quartz.

40 à 42 cm. A2 gris clair, très caractéristique, sableux, très légèrement consolidé à particulaire.

42 à 50 cm. B21 argilo-sableux, à structure prismatique sans formation nette de colonettes, dur à très dur, assez nets enduits argileux sur les agrégats.

50 à 90 cm. B22 et B23 argilo-sableux à argileux, massif, très dur, concrétions noires, nodules calcaires à partir de 65cm.

- 90 cm. Horizon BC et C d'altération d'une roche pauvre en ferro-magnésien; gros nodules calcaires puis petits points et enduits calcaires sur les morceaux de roches altérées.

Le profil présente bien les caractéristiques morphologiques des solonetz solodisés tropicaux récemment étudiés (Bocquier, 1964) : présence d'un A2 blanchi, structure prismatique de l'horizon B avec nette accumulation d'argile, présence de nodules calcaires en profondeur. Sur la fig. 14 on notera les variations brutales de la teneur en argile. Il en est de même pour le pH, qui reste acide jusqu'au sommet de l'horizon B. Le sodium est dosable dans tout l'horizon B (0,1 à 2,1 mé./100 g) et en excès moyen : Na/Ca entre 0,08 et 0,12.

Une caractéristique particulière de ce profil est l'épaisseur de l'horizon A1 dont la partie supérieure est entièrement travaillée par les vers de terre comme dans tous les profils de la toposéquence. Aussi il est permis de se demander si l'horizon lessivé est bien le résultat de la solodisation comme c'est le cas pour les horizons A1 peu épais signalés au Tchad, ou si la solodisation ne s'est pas installée à la limite A/B d'un sol hydromorphe à redistribution de calcaire lessivé, comme on en trouve sur la même toposéquence. La deuxième hypothèse semble la plus probable.

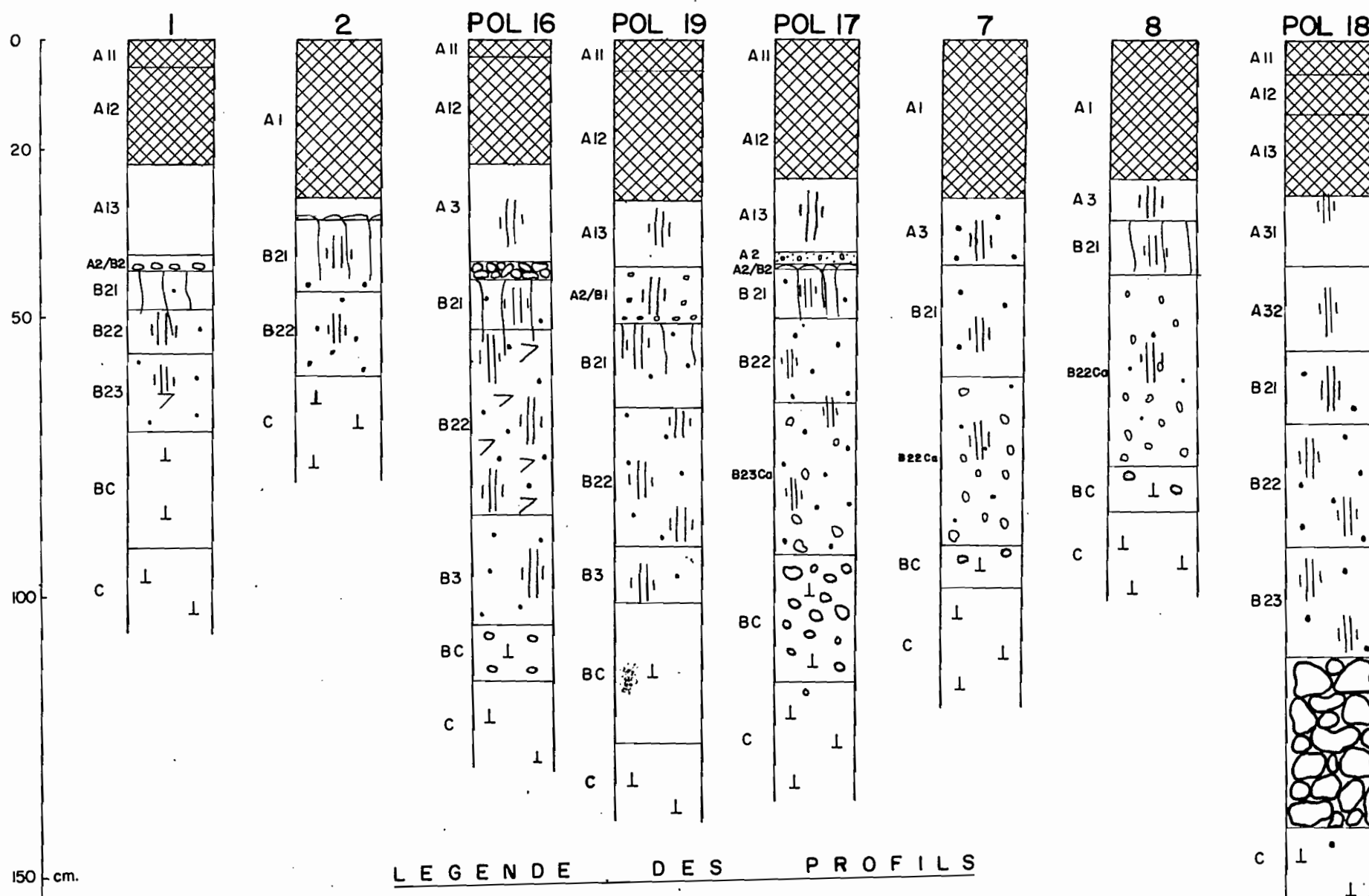
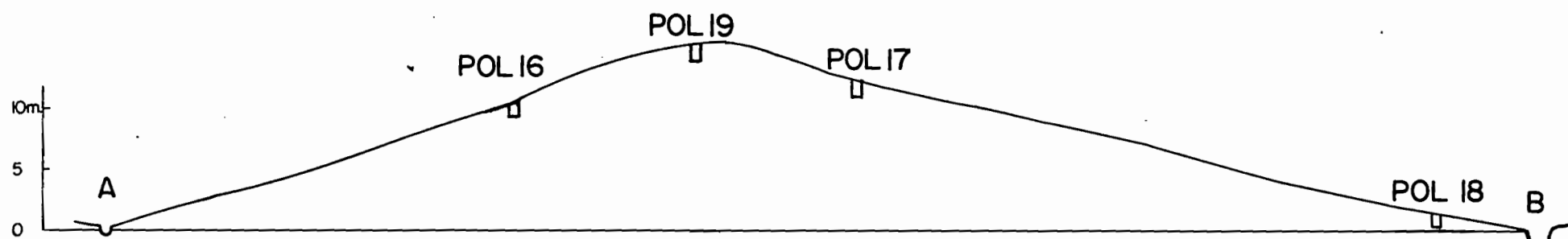
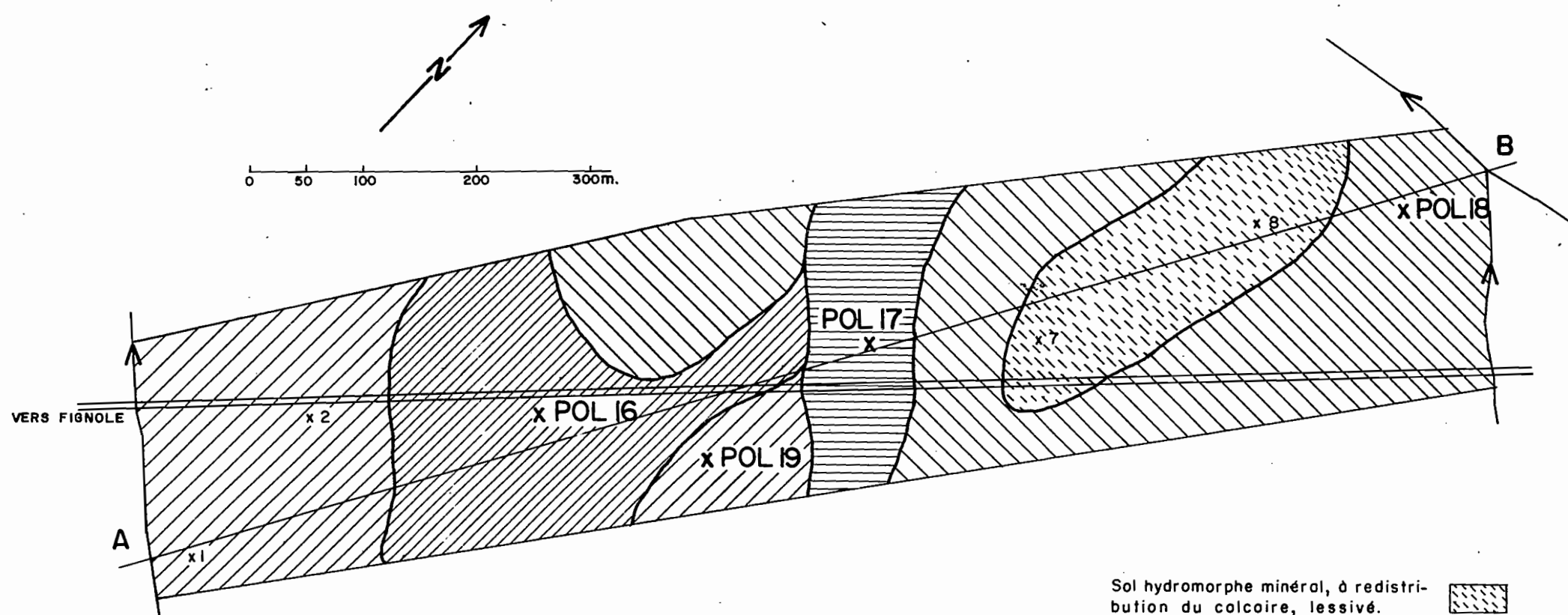
4.1.3 - La répartition des sols.

La carte de la fig. 15 traduit l'extrême hétérogénéité de la répartition des sols : aucune loi ne semble présider à celle-ci et on a davantage affaire à une juxtaposition de sols qu'à une chaîne de sols liés génétiquement. Deux processus pédogénétiques se retrouvent cependant dans tous les profils : l'altération ménagée de roches métamorphiques pauvres en ferro-magnésiens conduisant à l'apparition d'une hydromorphie d'origine lithomorphe ; un lessivage important et affectant tous les horizons supérieurs, en liaison avec la très forte activité des vers de terre.

L'altération ménagée d'une embréchite entraîne la formation d'un matériau originel assez homogène d'après les critères suivants :

- teneur en argile de l'horizon B toujours assez voisine : 30 à 40 %;

TOPOSEQUENCE TETTE



LEGENDE DES PROFILS

- | | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------------|---|
| Horizon humifère à vers de terre. | Précipitation localisée d'oxyde de fer ferrique (pseudo-gley). | Lit de cailloux. | Concrétions noires. Nodules colloïdaux. |
| Horizon humifère peu actif. | Macrostructure prismatique. | Surfaces de glissement. | Roche altérée. |

- composition minérale de la fraction argileuse assez constante, tout au moins dans l'horizon B, d'après le critère de la capacité d'échange : capacité d'échange de la terre fine comprise entre 15 et 22 mé./100 g, capacité d'échange de l'argile (rapport T/A) variant entre 50 et 60 mé./100 g.

Le lessivage est non seulement marqué morphologiquement mais aussi dans les résultats analytiques :

- l'indice d'entraînement de l'argile varie de $1/4,2$ à $1/8,7$: il est particulièrement élevé par suite de l'érosion superficielle ;

- l'indice de lessivage du fer est moins accusé : il varie entre $1/2,5$ et $1/3,5$.

L'accumulation d'argile n'est jamais nettement prouvée : des indices de revêtements ou enduits argileux, sont visibles dans l'horizon B21 des profils POL 17 et POL 18 ; l'accumulation ne se marque pas sur les graphiques de granulométrie.

Les processus secondaires qui rendent compte de l'hétérogénéité de la répartition des sols et permettent leur classification à un niveau inférieur sont l'action du sodium, l'accumulation de calcaire, la vertisolisation. Aucun de ces processus ne paraît lié à la topographie ou à une position particulière le long de la pente. C'est particulièrement vrai pour l'action du sodium, pour laquelle on peut évoquer les divers cas suivants :

- le sodium est présent dans la roche-mère et le matériau originel, mais après sa libération par altération des minéraux, il ne peut s'évacuer par insuffisance de percolation : sa présence ne peut alors qu'auto-accélerer le phénomène, les minéraux gonflants associés au sodium accentuant encore le défaut de perméabilité du sol.

- le sodium migre obliquement dans une chaîne de sols et s'accumule en bas de pente par suite d'un changement dans les conditions de drainage et de percolation.

- le sodium est amené dans le profil par une nappe phréatique fluctuante et générale.

Le dernier cas est exclu par la configuration même du paysage. Pour le deuxième cas il faudrait envisager l'existence à mi-pente et en travers de la colline d'un niveau particulièrement imperméable qui arrêterait tout le drainage oblique vers le bas : un tel niveau n'a pas été vu sur le terrain. Seule la première possibilité est à retenir : le sodium est présent dans la roche, mais ne peut être éliminé par insuffisance générale de percolation. Quant à l'action même du sodium, bien qu'il ne soit pas de notre propos d'aborder ce problème, on peut se demander si le sodium joue un rôle par lui-même dans la solodisation ou simplement parce qu'il rend l'horizon B encore plus imperméable. La morphologie des solonetz solodisés décrits et leur position au milieu de sols hydromorphes lessivés suggèrent que la formation de l'horizon blanchi a succédé au lessivage et n'en est peut-être qu'un stade extrême lié à une hydromorphie particulièrement forte.

Ces processus secondaires seraient ainsi liés à de faibles variations de la composition chimique de la roche et en particulier des teneurs en calcium et en sodium et du rapport entre ces deux cations. Une telle action serait de toute façon difficile à prouver compte-tenu de la profondeur à laquelle on peut trouver la roche saine et des possibles variations aussi bien latéralement que verticalement. On ne peut que suggérer les correspondances suivantes :

- sols hydromorphes lessivés modaux : teneur moyenne en calcium, et présence éventuelle de sodium si l'élimination en est facile (profil POL 18).

- Sols hydromorphes lessivés vertiques : teneurs un peu plus élevées en minéraux altérables et en calcium permettant une teneur suffisante en argile à plus forte proportion de montmorillonite pour déclencher un processus de vertisolisation (profil POL 16).

- sols hydromorphes lessivés, faciès à structure dégradée : rapport Na/Ca un peu plus élevé que la normale.
- sols hydromorphes à redistribution de calcaire lessivés : bonnes teneurs en calcium et rapport Na/Ca faible.
- solonetz solodisés : bonnes teneurs en calcium et rapport Na/Ca élevé.

Nous avons déjà dit que la position topographique ne jouait aucun rôle dans la répartition des sols : elle ne semble avoir une influence que sur l'épaisseur de ceux-ci. Ainsi en bas du flanc sud de la colline l'épaisseur des horizons A + B ne dépasse pas 60-70 cm contre plus d'un mètre au sommet de la colline. De même sur le flanc nord les sols hydromorphes à redistribution du calcaire ont moins d'un mètre alors qu'en bas de pente le profil POL 18 est particulièrement épais. Cette plus grande épaisseur, particulièrement sensible pour l'horizon A (55 cm) est peut-être due au colluvionnement, mais ceci n'est pas visible dans le profil. En effet les produits à colluvionner sont identiques à ceux sur lesquels ils se déposeraient et l'activité des vers de terre aurait vite fait de perturber le dépôt.

4.1.4 - Conclusion.

L'étude de cette toposéquence est particulièrement intéressante car elle met bien en évidence l'importance relative des différents processus pédogénétiques, dont les principaux sont :

- une hydromorphie bien marquée dans les horizons B et causée par un type d'altération particulier de roche métamorphique leucocrate riche en feldspaths calciques.
- un lessivage généralisé et dont l'importance est ici plus ou moins liée à l'activité des vers de terre.

Les autres processus qui ont permis de classer les sols en trois groupes appartenant à deux classes différentes nous paraissent secondaires dans l'état actuel de nos connaissances et liés

à de faibles variations dans l'équilibre cationique des roches-mères. Cette diversité dans la classification alors que les processus principaux paraissent les mêmes ne fait que renforcer ce que nous disions plus haut (par. 3.3.4) : la hiérarchie des processus pédogénétiques actuellement utilisée dans la classification n'est pas entièrement satisfaisante et une place beaucoup plus importante pourrait en particulier être faite au lessivage.

4.2 - Toposéquence Larki.

4.2.1 - Généralités.

Cette toposéquence est étudiée à 2,5 km à l'est du village de Larki, le long de la route de Tcholliré. La pluviométrie doit être de l'ordre de 1.200 mm avec une température moyenne de 27°. La végétation est une savane arborée et arbustive en général peu dense, mais assez variée : *Butyrospermum Parkii*, *Terminalia macroptera* et *Gardenia tenuifolia* sont les espèces les mieux représentées. La strate graminéenne est à base d'*Andropogonées* d'au moins 2 m de haut.

La toposéquence est située sur un plateau à 310 m d'altitude, qui domine la vallée de la Benoué à 250 m que l'on atteint par une pente régulière : le paysage de collines basses est parfaitement aplani et les dénivellations ne dépassent pas 15 à 20 m. Le réseau de drainage est dense et bien hiérarchisé. La colline étudiée a un peu plus de 1.000 m de large : elle est limitée à l'ouest par un petit mayo primaire à peine marqué, que rejoint une petite rigole d'écoulement; à l'est le mayo, déjà plus important, a 2 à 3 m de large, il est encaissé d'au moins 2 m et n'alluvionne pas. Les pentes, faibles dans l'ensemble (2,5 à 3 %) mais régulières, permettent un drainage externe normal. Le profil de la colline, nettement convexe à son sommet, ne semble pas devenir concave en bas de pente.

La roche-mère n'est pas homogène sur toute la colline : d'après la carte géologique il s'agirait d'un granite à amphibole.

TOPOSEQUENCE LARKI

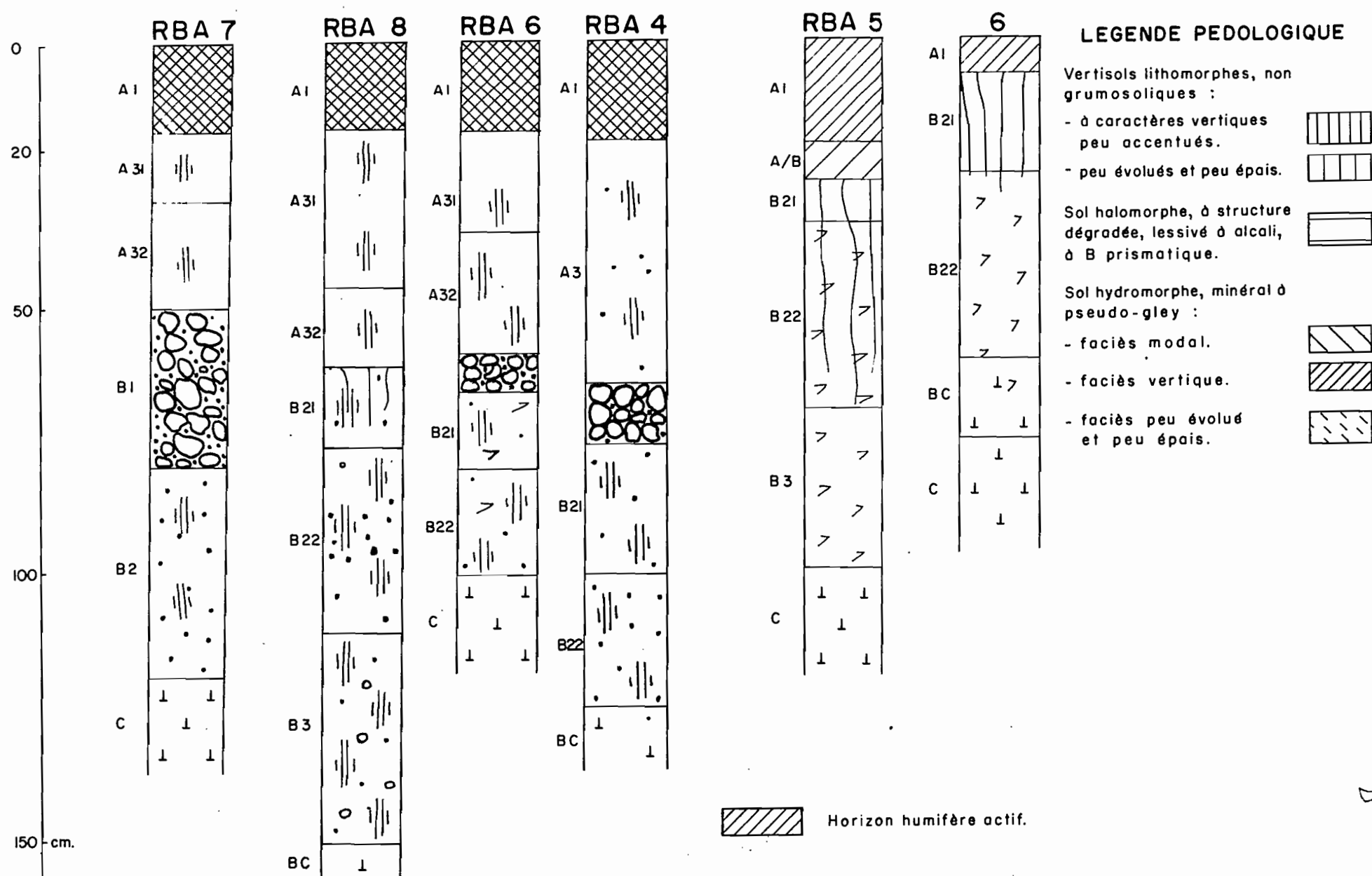
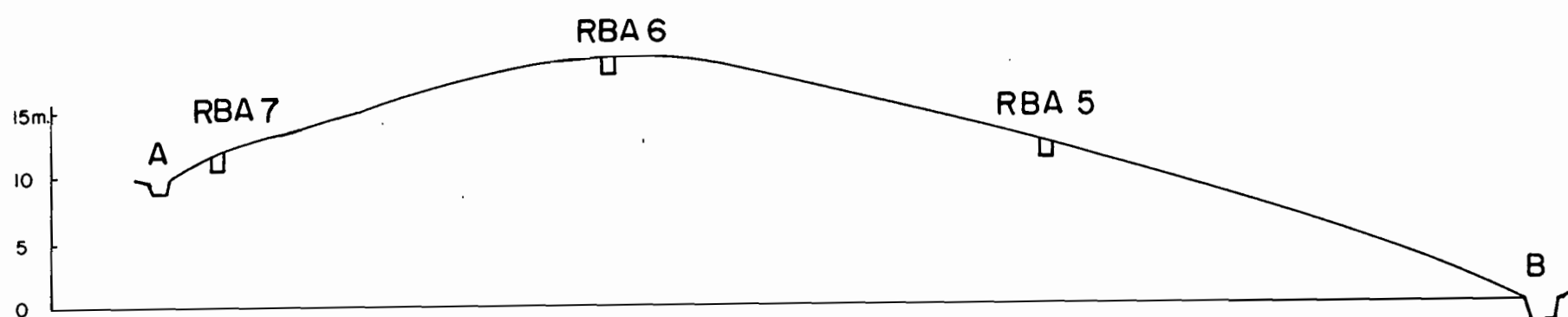
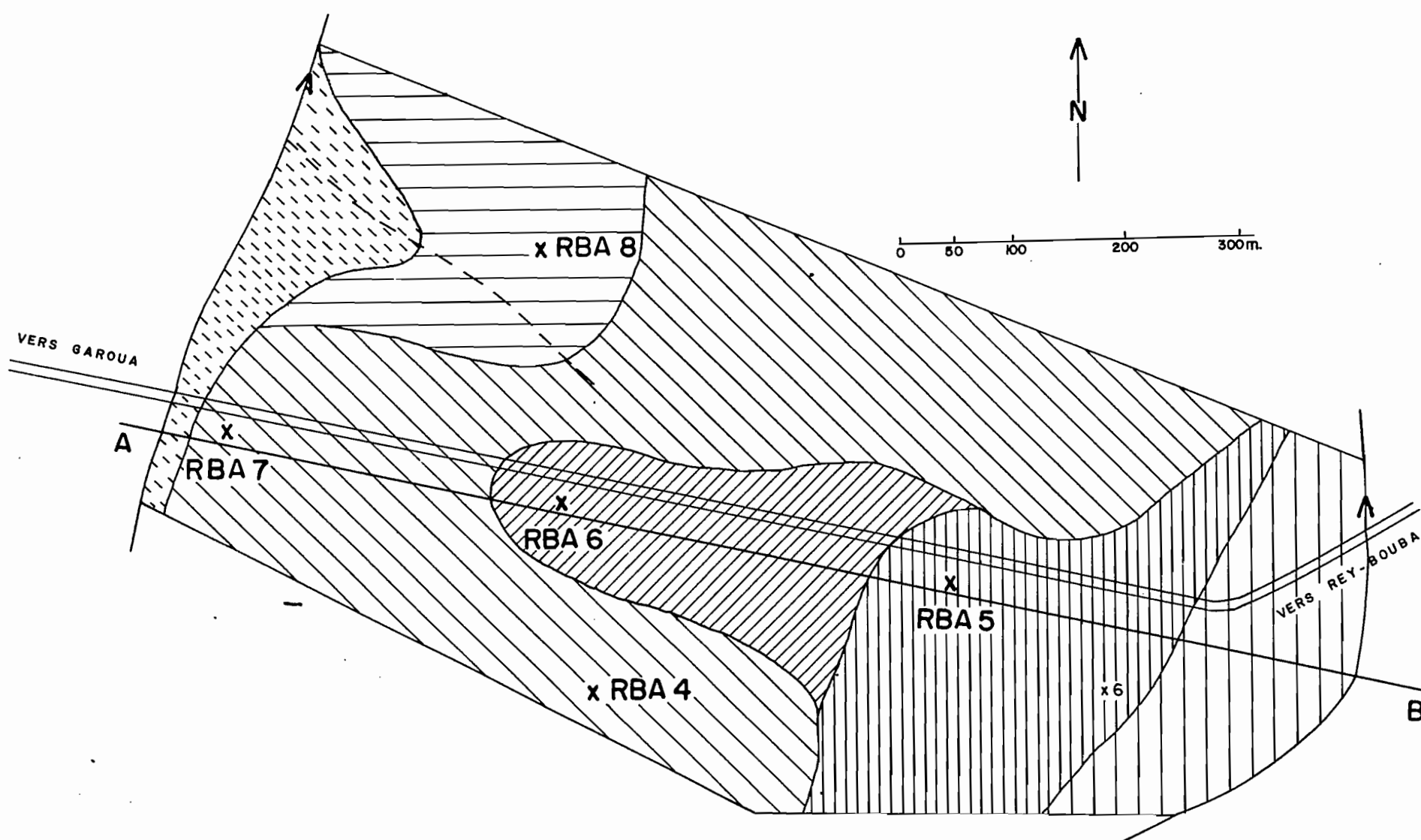


Figure 17

D'après l'aspect des horizons d'altération, car il n'existe pas d'affleurements de roche saine, on note le passage de l'ouest vers l'est d'une roche granitique essentiellement quartzo-feldspathique et pauvre en ferromagnésien à une roche plus nettement orientée et beaucoup plus mélanocrate.

4.2.2 - Les sols.

4.2.2.1 - Sols hydromorphes à pseudo-gley lessivés.

Le profil RBA 6 (par. 3.1.3) a été étudié sur cette topographie : il a été pris comme type du faciès vertical. Comme autre profil caractéristique nous pouvons citer le profil RBA 4.

R B A 4.

Observé au sommet de la colline comme RBA 6.

0 à 20 cm. A1 brun gris, sableux, à très forte macroporosité de vers de terre.

20 à 65 cm. A3 gris clair tacheté de rouille, sablo-argileux, quelques concrétions noires.

65 à 75 cm. Lit de cailloux et graviers de quartz et petites concrétions noires dans terre argileuse grise (2,5 Y).

75 à 125 cm. B2 bigarré brun gris à brun olive (2,5 Y) argilo-sableux, massif et dur, concrétions noires.

- 125 cm. Roche altérée claire, d'aspect moins massif, dur à friable.

Morphologiquement le profil se caractérise par la forte épaisseur de l'horizon A et l'absence de structure prismatique dans l'horizon B2. Le profil RBA 7 observé en bas de pente est très voisin, si ce n'est une plus grande épaisseur du lit de cailloux.

Analytiquement il faut noter le fort contraste de texture entre les horizons A et B (fig. 16) : 10 à 20 % d'argile en A et 38-40 % en B. L'enrichissement en sable fin est particulièrement

marqué dans l'horizon A. Comme dans tous les profils étudiés, le pH est minimum à la limite A/B. Le sodium est dosable dans l'horizon B (0,25 à 0,5 mé./100 g) mais jamais en excès (Na/T inférieur à 0,02). Le profil est classé dans le faciès modal.

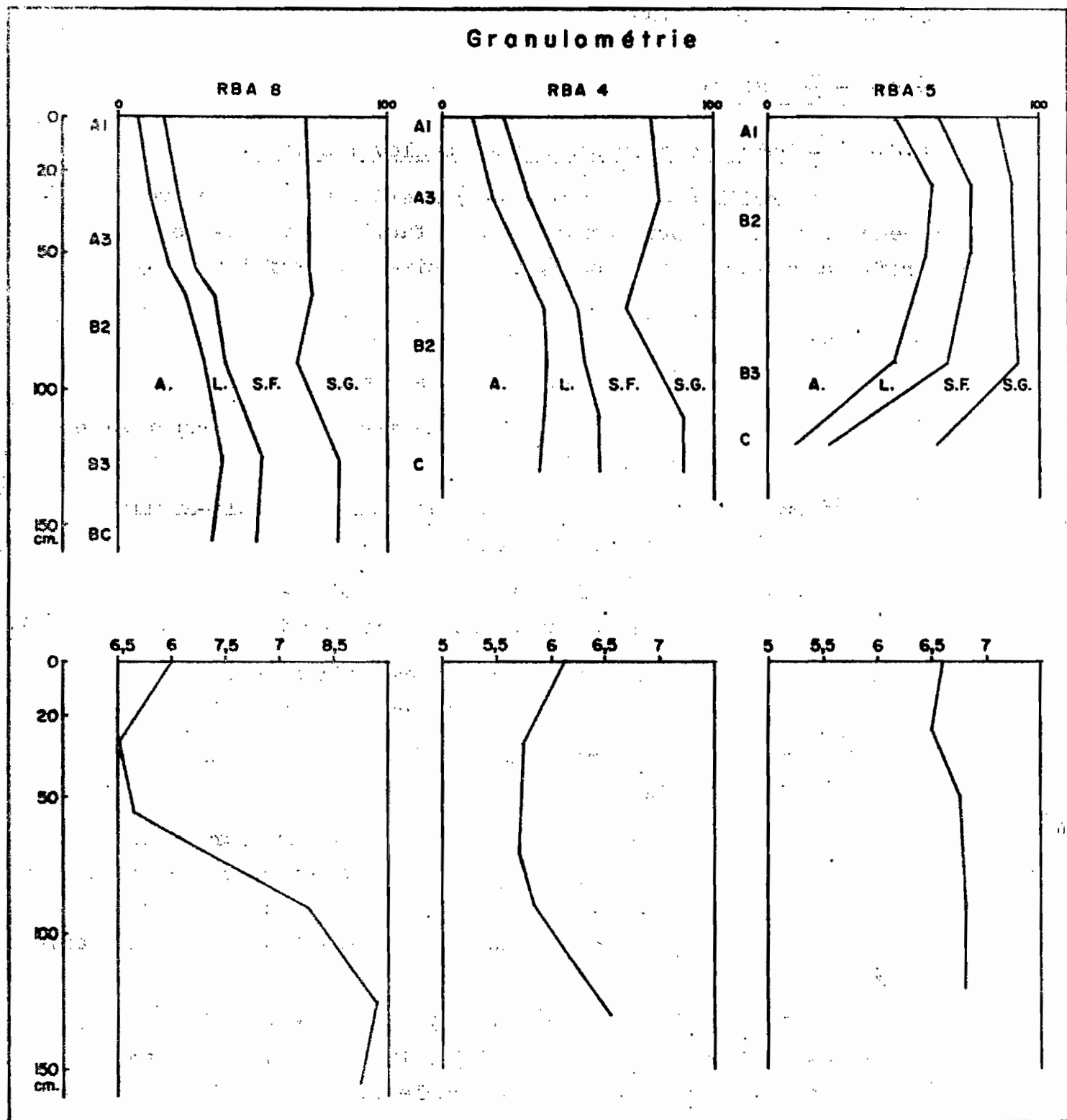


Figure 16

Le profil RBA 8 est intéressant à étudier parce qu'il présente un net excès de sodium dans l'horizon B sans toutefois atteindre les valeurs requises pour être classé dans les sols halomorphes.

R B A 8.

Un peu en-dessous du sommet de collines, à proximité d'une petite rigole d'écoulement.

0 à 15 cm. A1 brun gris légèrement tacheté de rouille, sableux, très forte macroporosité de vers de terre, fragile à peu dur.

15 à 60 cm. A3 entièrement bigarré brun gris à brun-jaune (10 YR) à taches jaune-rouge (7,5 YR), sableux à sablo-argileux, peu dur à dur.

60 à 75 cm. B21 entièrement bigarré brun gris (10 YR) à brun-jaune (7,5 YR), argilo-sableux, structure prismatique moyennement caractérisée par fentes verticales, dur à très dur, revêtements argileux par place dans certains pores et sur faces d'agrégats.

75 à 150 cm. B22 et B23 s'éclaircissant en profondeur (10 YR puis 2,5 Y) argilo-sableux, massif et dur, rares nodules calcaires à partir de 110 cm, concrétions noires.

- 150 cm. Horizon BC de mélange de terre grise et de roche altérée plus claire.

Morphologiquement le profil n'est pas différent de ceux des sols hydromorphes déjà étudiés : l'accumulation d'argile et l'hydromorphie sont mieux marquées qu'à l'ordinaire; le début de structure prismatique fait ranger ce profil dans le faciès à structure dégradée. Analytiquement le profil se caractérise par la présence de sodium dans l'horizon B : les teneurs en sodium et le rapport Na/T augmentent régulièrement du haut en bas de l'horizon B, respectivement de 0,6 à 3 mé./100 g et de 0,05 à 0,1. De même le pH devient franchement basique avant même l'apparition du calcaire et augmente en profondeur.

Bien que l'excès de sodium soit du même ordre de grandeur que dans le profil POL 17, l'absence de critères morphologiques nets ne permet pas de classer ce profil dans les sols halomorphes et le maintient dans les sols hydromorphes à pseudo-gley lessivés, faciès à structure dégradée.

Comme autre caractéristique il faut noter l'augmentation graduelle du taux d'argile en profondeur (fig. 16) à comparer avec le profil POL 17 (fig. 14). Ce profil est-il en début d'une pédogénèse de type halomorphe ? Celle-ci ne se marquerait actuellement que par un excès de sodium dans l'horizon B et une accumulation d'argile en haut de B assez visible sur le profil, mais qui n'a pas encore séparé nettement les horizons A et B. La poursuite d'un tel processus conduirait d'abord à un profil granulométrique beaucoup plus tranché avant l'apparition d'un horizon A2 de solodisation. Il faut observer que le profil est situé en bas de pente et qu'il est particulièrement marqué par l'hydromorphie.

4.2.2.2 - Vertisols.

Une importante tache de vertisols occupe la partie est de la toposéquence.

R B A 5.

A mi-pente de la colline en pente faible et régulière.

0 à 12 cm. A1 brun très foncé, bien humifère, argileux, structure nuciforme grossière. Nette transition de couleur sur 5 cm.

17 à 35 cm. B21 brun très argileux, macrostructure prismatique par fentes verticales, très dur.

35 à 70 cm. B22 brun-jaune, argileux, macrostructure prismatique par fentes verticales ou obliques, structure en plaquettes par belles surfaces de glissement, très dur.

70 à 100 cm. B23 brun olive, argileux, disparition des fentes et diminution des surfaces de glissement, massif et très dur.

- 100 cm. Roche altérée assez claire nettement moins cohérente que l'horizon B23.

Aucun indice d'hydromorphie sous forme de taches rouille ou grise n'est décelé dans le profil et l'horizon supérieur a une structure grossière : ce sol est un vertisol lithomorphe, groupe non grumosolique. La mauvaise homogénéisation du profil, qui est sensible dans la différence aussi bien de couleur que de texture entre les horizons A et B, fait ranger ce profil dans le sous-groupe à caractère vertique peu accentué.

Comme principales caractéristiques analytiques il faut noter :

- le pH faiblement acide et variant peu dans le profil ;
- l'absence de sodium fixé sur le complexe absorbant ;
- l'importance des réserves minérales en calcium et magnésium ;
- la nette dominance de la montmorillonite dans la fraction argileuse décelée aussi bien par l'étude aux rayons X (montmorillonite très bien cristallisée, traces de kaolinite) que par l'analyse chimique ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ supérieur à 3) ;
- les teneurs élevées en fer libre et fer total : respectivement 4 à 6 % et 10 à 12 %.

La pédogénèse de ce profil est ainsi complètement différente de celles des sols hydromorphes et halomorphes vus jusqu'à présent :

- absence de lessivage et d'action des vers de terre.
- absence de caractères d'hydromorphie.
- importance des mouvements dans le sol, due à la très forte proportion de montmorillonite.

4.2.3 - La répartition des sols.

La toposéquence est partagée en deux types de pédogénèse bien tranchée : hydromorphie accompagnée de lessivage, vertisoli-

sation. La pente et la position dans la pente ne joue aucun rôle dans cette répartition puisqu'on trouve des sols hydromorphes aussi bien au sommet que sur les flancs de la colline, tandis que les vertisols n'occupent que le flanc est de celle-ci.

Le seul facteur de différenciation paraît être la roche-mère. Celle des vertisols, riche en minéraux altérables et en fer, magnésium et calcium donne un matériau d'altération presque exclusivement formé de montmorillonite : les mouvements importants dans le sol empêchent toute possibilité de lessivage et les conditions ne sont pas favorables à une forte activité des vers de terre. Celle des sols hydromorphes moins riche en fer et magnésium donne un matériau moins argileux et fortement marqué par l'hydromorphie : favorisé par l'action des vers de terre, le lessivage s'installe et ne fait qu'accentuer la différenciation du profil en deux horizons tranchés.

La répartition des sols hydromorphes eux-mêmes est intéressante : une bande de sols à faciès verticale fait transition avec les vertisols au sommet de la colline, la majorité des sols appartient au faciès modal. L'existence, localisée en bas de pente, d'une tache de sols à faciès dégradé peut-être liée à un excès de sodium introduit la possibilité d'une liaison génétique. Les sols du sommet de la colline ne sont pas exempts desodium, mais celui-ci est en très faible quantité : il a eu ainsi la possibilité de migrer obliquement et de s'accumuler en bas de pente, mais son action n'est pas suffisamment forte ou suffisamment longue pour différencier dans le profil un horizon A2 blanchi, qui seul aurait permis de classer les sols de cette zone dans la classe des sols halomorphes.

La position dans la pente ne joue vraiment un rôle que tout à fait en bas de pente et seulement pour diminuer l'épaisseur du sol dont la pédogénèse ne change pas : sols hydromorphes lessivés peu épais et peu évolués sur le flanc ouest, vertisols peu épais et peu évolués sur le flanc est. Le réseau hydrographique dense et suffisamment enfoncé contribue à éroder les sols de bas pente :

il n'y a pas d'accumulation et le profil de la colline reste convexe jusqu'à l'axe de drainage.

4.2.4 - Conclusion.

La toposéquence est surtout intéressante parce qu'elle met en contact deux types tranchés de pédogénèse, pour lesquels le seul facteur de différenciation est la roche-mère. L'altération se fait partout en milieu confiné susceptible de provoquer la formation de montmorillonite, mais la proportion de cette dernière est d'autant plus forte que la roche est plus basique. Avec une forte proportion de montmorillonite, les phénomènes de gonflement et retraction qui caractérise la vertisolisation sont prédominants : même si un début de lessivage se manifestait, le brassage du sol empêcherait la différenciation d'un horizon lessivé. Avec une plus faible proportion de montmorillonite, la vertisolisation ne peut se manifester ou ne s'exerce que sur une faible tranche du profil, les caractéristiques d'hydromorphie se marquent morphologiquement et le lessivage s'installe avec la complicité des vers de terre.

Dans le secteur des sols hydromorphes les différenciations sont faibles et sont liées aussi bien à la roche-mère (juxtaposition) qu'à la position dans la pente (lien génétique) : des sols à faciès vertique font transition avec les vertisols; une accumulation de sodium par lessivage oblique est possible en bas de pente et pré luderait à une action de type halomorphe.

4.3 - Toposéquence Bibémi.

4.3.1 - Généralités.

Cette toposéquence est étudiée entre Bibémi et Adoumri à 5 km à l'est de ce dernier. La pluviométrie ne doit pas dépasser 1.000 mm et la température moyenne voisine de 28°. Le décalage vers le nord par rapport aux deux autres toposéquences accentue certainement la dégradation du climat vers la sécheresse : pluviométrie plus faible, température et évaporation plus élevées. Cette

- dégradation se fait sentir sur la végétation, qui, de plus, n'est pas homogène sur toute la toposéquence. Assez dense et variée en haut de la colline, la végétation est beaucoup moins fournie en bas de pente. Les principaux arbres rencontrés sont *Anogeissus leiocarpus*, *Terminalia laxiflora*, *Sterculia tomentosa*. Parmi les arbustes il faut citer *Balanites aegyptiaca*, *Lannea Barteri*, *Ximenia americana*. La strate graminéenne ne dépasse pas 1 à 1,2 m de haut.

Le paysage est parfaitement aplani et très mollement ondulé à l'altitude de 250 m. La toposéquence n'occupe que le flanc nord d'une colline de 15 m de dénivellation. Le sommet de la colline est très plat sur 150 m de large, puis la pente s'accroît mais reste faible et régulière (1,5 à 2 %) jusqu'à un petit mayo précédé d'une zone d'érosion en ravines. Le fonds du mayo est très graveleux et montre quelques affleurements rocheux, en particulier de roches filoniennes quartzo-feldspathiques.

La carte géologique indique la présence d'un granite à biotite et muscovite : l'observation des horizons d'altération montre des roches altérées pauvres en minéraux ferro-magnésiens et l'existence de filons de quartz.

4.3.2 - Les sols.

4.3.2.1 - Les sols hydromorphes à pseudo-gley lessivés.

Le profil BIB 5 (par. 3.1.4), type du faciès à accumulation d'argile, a été étudié sur cette toposéquence. Comme autre profil caractéristique, nous décrirons schématiquement le profil BIB 9.

B I B 9.

Bas de pente à 150 m du mayo.

- 0 à 27 cm. A1 brun gris, finement tacheté de rouille, sableux, forte macroporosité de vers de terre sur 15 cm.
- 27 à 62 cm. A3 entièrement bigarré brun gris à gris clair, à taches rouilles de plus en plus nettes, sablo-argileux, structure peu développée.

TOPOSEQUENCE BIBEMI

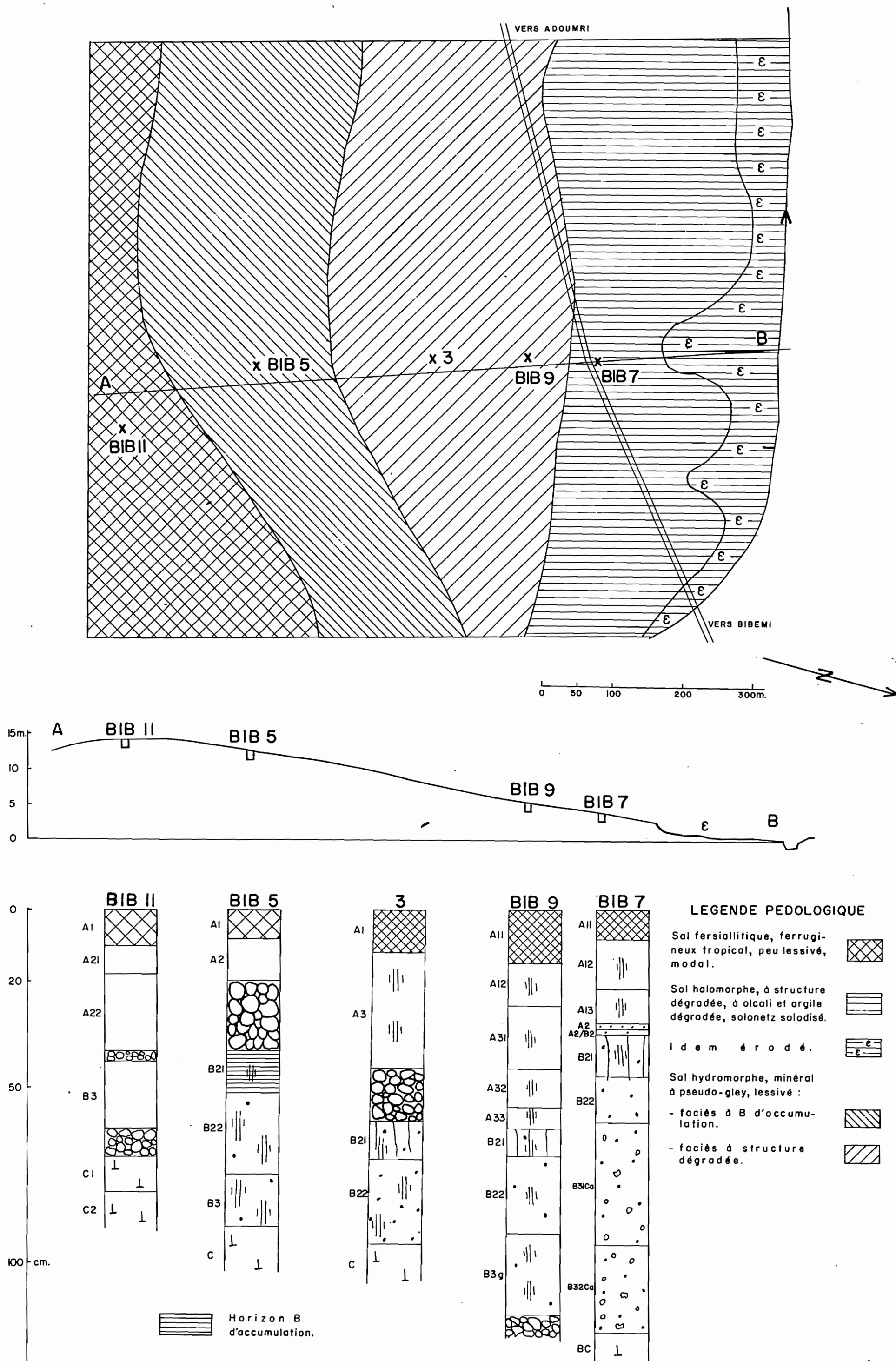


Figure 19

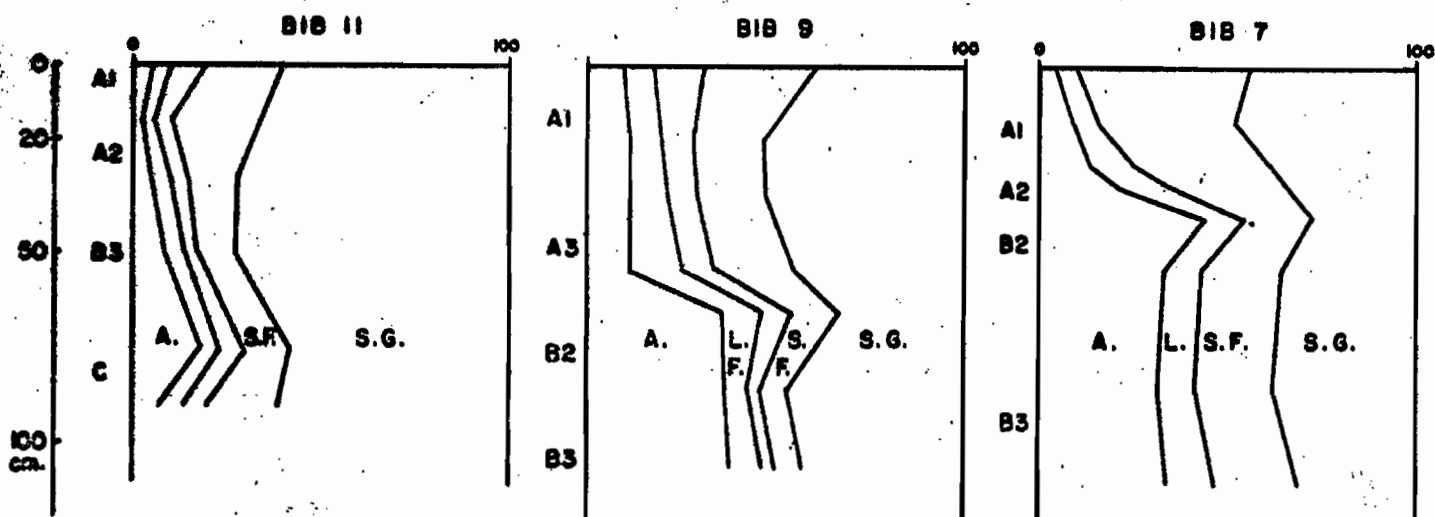
62 à 70 cm. Transition tranchée à un horizon B21 brun-gris entièrement tacheté de rouille, argilo-sableux, petits prismes de 2-3 cm de diamètre et 6-8 cm de haut à allure de colonnettes, très dur.

70 à 115 cm. B22 entièrement bigarré brun-gris à brun-jaune, argilo-sableux, massif, très dur, quelques concrétions noires.

- 115 cm. Accumulation de quartz de toute dimension.

Les caractéristiques morphologiques (passage brutal à l'horizon B, structure particulièrement dégradée de l'horizon B21) et

Granulométrie



pH

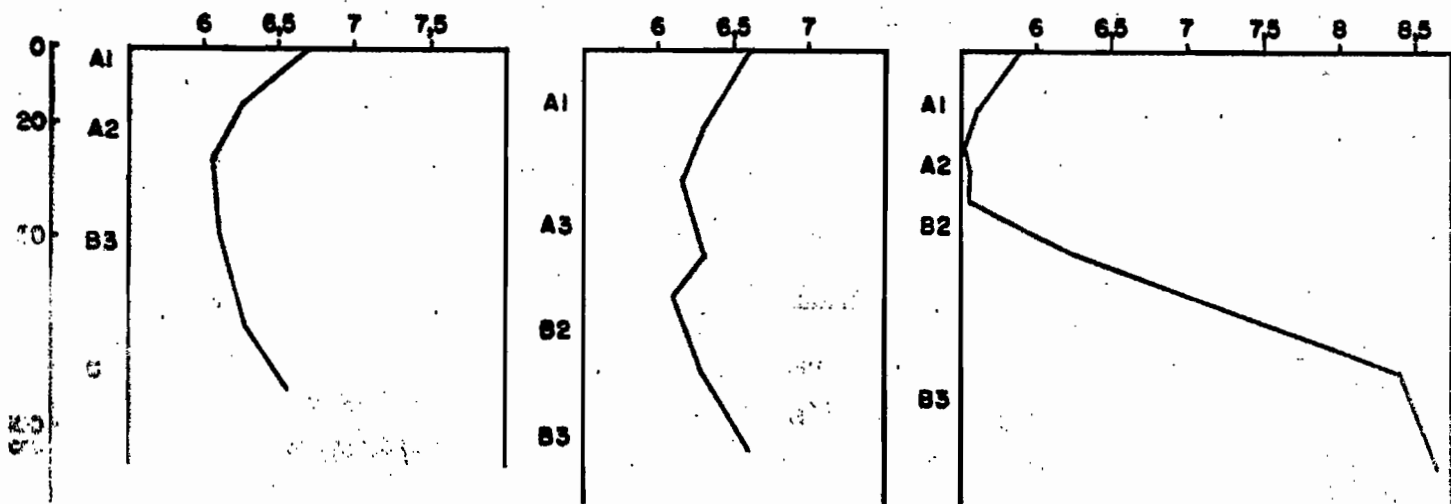


Figure 18

la proximité d'un sol halomorphe à horizon blanchi (BIB 7) pouvait faire penser, sur le terrain, à un sol halomorphe (solonetz): les résultats analytiques ont infirmé cette interprétation. Le sodium, bien que présent dans l'horizon B (0,5 à 1,1 mé./100 g) n'est pas en excès : le rapport Na/T est inférieur à 0,06 et de plus le pH est faiblement acide dans tout le profil et présente un minimum au sommet de B. Aucune accumulation d'argile n'est visible au sommet de B, dont la texture est particulièrement homogène (36-38 % d'argile). Le profil est classé comme faciès à structure dégradée des sols hydromorphes à pseudo-gley lessivés.

4.3.2.2 - Sols ferrugineux tropicaux.

Le sommet de la colline est occupé par une tache de sols ferrugineux tropicaux.

B I B 11.

Sommet plat de la colline, Végétation arborée et arbustive assez dense et variée.

- 0 à 10 cm. A1 brun gris (10 YR), sable grossier, structure nuciforme fine peu développée, pas de vers de terre.
- 10 à 40 cm. A2 brun à brun clair (10 YR à 8,75 YR), graviers et sable grossier, structure à tendance particulière par abondance de quartz grossier.
- 40 à 43 cm. Lit de cailloux de quartz de diamètre variable.
- 43 à 62 cm. B3 rouge-jaune (5 YR), riche en sable grossier et graviers de quartz, petits agrégats argileux entre les éléments grossiers, minéraux ferro-magnésiens et feldspaths en voie d'altération visible par place.
- 62 à 70 cm. Nouvelle accumulation de quartz de diamètre variable.
- 70 cm. Horizon d'altération : quartz et feldspaths de moins en moins altérés en profondeur et recouvert d'un enduit argileux rouge provenant de l'altération de minéraux noirs.

Le profil est assez complexe et a pu subir érosion et remaniement. La roche-mère est riche en quartz, qui s'est accumulé en lit de cailloux et a facilité l'arénisation. L'argilisation est cependant nette à partir des minéraux ferro-magnésiens et le fer libéré colore fortement la partie inférieure du profil. Le lessivage est bien marqué par le départ d'argile et de fer jusqu'à 40 cm : aucune accumulation n'est décelable dans le profil et les produits lessivés doivent s'accumuler plus bas dans la pente. Analytiquement les teneurs en argile, très faibles dans les horizons A1 et A2, augmentent en profondeur et le maximum d'argile se situe paradoxalement au sommet de l'horizon C, mais il est dû à l'argilisation et non à l'accumulation. Les teneurs en fer sont faibles (1 à 2,5 % de fer total, 0,5 à 1,5 % de fer libre) et augmentent en profondeur jusqu'à l'horizon C par suite du lessivage. Les rapports Fe libre/Fe total supérieurs à 0,5 et Fe libre/Argile supérieur à 0,12 sont assez caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux. Le pH, faiblement acide, présente un minimum à la base de l'horizon A2. Le profil est classé comme sol ferrugineux tropical peu lessivé, sous-groupe modal.

4.3.2.3 - Sols halomorphes.

Tout le bas de la toposéquence est occupé par des sols halomorphes, qui sont érodés en ravines à partir du mayo voisin. Nous donnerons schématiquement la description du profil BIB 7.

B I B 7.

Bas de pente. Savane arborée et arbustive très peu dense.

0 à 8 cm. A11 brun gris, sable fin et grossier, structure complexe en liaison avec la plus ou moins grande macroporosité par les vers de terre.

8 à 32 cm. A12 brun gris à taches rouilles de plus en plus nettes et abondantes en profondeur, sable fin et grossier peu argileux, aspect massif et structure peu développée, peu fragile à dur. Transition tranchée.

- 32 à 34 cm. A2 gris clair se formant à partir du dessus des prismes de l'horizon suivant, sable fin et grossier peu argileux, particulaire puis faiblement structuré.
- 34 à 47 cm. B21 brun gris tacheté de rouille, argileux, macro-structure prismatique plus ou moins bien développée, nets revêtements argileux sur les faces d'agrégats, très dur et peu poreux.
- 47 à 60 cm. B22 brun (10 YR) bigarré, argilo-sableux, massif, très dur, concrétions noires.
- 60 à 120 cm. B3 brun gris à brun-jaune (2,5 Y), argilo-sableux, massif, très dur, nodules calcaires et concrétions noires.

Morphologiquement le profil est caractérisé par la présence d'un horizon A2 blanchi et d'une nette accumulation d'argile, décelable aussi bien dans le profil (revêtements argileux). Analytiquement le pH est nettement acide dans tout le haut du profil, présente un minimum à la limite A2/B2, puis ne devient franchement basique qu'en présence de calcaire; le sodium n'est pas en excès puisque le rapport Na/T ne dépasse pas 0,05 dans l'horizon B. Les critères analytiques des sols halomorphes ne sont donc pas réalisés : la morphologie est cependant suffisamment nette pour conserver l'appellation de solonetz solodisés à ce type de sol.

4.3.3 - La répartition des sols.

Deux types d'altération se partagent la toposéquence :

- une arénisation au sommet de la colline, liée à un passage de roche nettement plus riche en quartz : l'argilisation à partir des minéraux ferro-magnésiens et la forte individualisation du fer en sont les principales conséquences;

- une altération ménagée en milieu confiné sur tout le reste de la colline, qui conduit au mélange d'argiles (kaolinite, illite et montmorillonite) caractéristique des sols hydromorphes et halomorphes lithomorphes.

Le drainage interne, fonction aussi bien des teneurs en argile que des types d'argile, est totalement différent sur les sols formés sur les deux types de matériaux :

- sols parfaitement drainés au sommet de la colline ;
- sols à très mauvais drainage interne sur tout le reste de la colline.

Un processus pédogénétique est cependant commun à tous les sols, le lessivage. Il prend cependant des aspects variés :

- lessivage en argile et fer des sols ferrugineux tropicaux, mais sans aucune accumulation dans le profil.

- lessivage en argile des sols hydromorphes et halomorphes, s'accompagnant dans deux profils sur trois de la présence d'un horizon A2 normal (profil BIB 5) ou blanchi (profil BIB 7) et d'une nette accumulation d'argile au sommet de B.

Le lessivage est donc particulièrement net et bien caractérisé sur l'ensemble de la toposéquence : il est possible qu'il s'accompagne d'un processus de destruction de minéraux argileux, non seulement dans le profil à horizon blanchi (BIB 7) mais même dans le profil BIB 5 (voir par. 3.1.4.2). Il faut noter que ce processus ne serait pas lié à la présence de sodium, qui n'atteint d'ailleurs pas les limites requises pour les sols halomorphes dans le profil qui est tout de même classé par sa morphologie comme solonetz solodisés. Le léger excès de sodium décelé est tout de même situé en bas de pente, ce qui paraît une position normale.

La répartition des sols est donc basée en même temps sur la juxtaposition, fonction des variations de la roche-mère et sur des liens génétiques, qui se manifestent essentiellement par une accumulation d'argile à partir d'un lessivage oblique et la concentration de sodium en bas de pente.

4.3.4 - Conclusion.

L'intérêt de la toposéquence est dû à la présence de sols appartenant à trois classes différentes, malgré la généralité du lessivage dans tous les profils. Ce lessivage prend des modalités

variées et n'est plus autant lié à la présence des vers de terre que sur les toposéquences précédentes. La dégradation du climat semble exacerber les phénomènes de lessivage et d'accumulation jusqu'à une possible dégradation des minéraux argileux.

5 - Conclusion générale.

L'étude a été centrée sur les sols hydromorphes lessivés, pour lesquels a été mise en évidence une pédogénèse originale, combinant les effets d'un matériau originel particulier, de l'hydromorphie qui lui est liée, et du lessivage. Après l'étude détaillée de quelques profils caractéristiques furent passées en revue les principales caractéristiques morphologiques, chimiques et minéralogiques de ces sols, ce qui permit d'en faire une bonne caractérisation et d'en étudier les principaux processus de formation. Le problème de la classification de ces sols fut résolu, dans le cadre de la classification actuelle (Aubert, 1965) par la création d'un sous-groupe lessivé dans le groupe des sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley. Cette solution n'est pas entièrement satisfaisante, comme l'a montré encore mieux l'étude de toposéquences. Celle-ci a mis en effet en évidence les liaisons possibles avec d'autres types de sols de la région, en particulier les vertisols, les sols halomorphes et accessoirement les sols ferrugineux tropicaux.

Pour les sols halomorphes fut conservée l'appellation utilisée jusqu'à maintenant et basée essentiellement sur la morphologie : des études récentes (Humbel, 1965 et Brabant, 1967) ont montré qu'il y avait la matière à discussion. Brabant a en particulier appelé "sols à horizon blanchi" des profils étudiés dans une zone plus sèche que celle où nous avons vu la plupart de nos profils et qui, morphologiquement se rapprochent des solonetz solodisés et des solods, mais pour lesquels les critères chimiques des sols halomorphes ne sont pas toujours réalisés. Les quelques profils à horizon blanchi de cette étude montrent également une discordance entre la morphologie et les critères chimiques.

L'étude des trois toposéquences a permis en particulier de mettre en évidence que, s'il y a une coupure nette dans les processus pédogénétiques entre sols hydromorphes et vertisols, il n'y en avait pas entre sols hydromorphes et sols halomorphes : pour ces derniers le lessivage est prédominant et prend des aspects très voisins. Malgré l'absence des sols ferrugineux tropicaux lessivés dans les toposéquences étudiés, ce que l'on connaît de ces sols permet d'avancer qu'il n'y a pas non plus de coupure nette entre sols ferrugineux tropicaux lessivés et sols hydromorphes lessivés : la liaison se fait en particulier par l'intermédiaire de sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes, dans lesquels le colmatage de l'horizon B par accumulation d'argile est particulièrement accusé.

La seule coupure, et encore doit-il y avoir des cas intermédiaires, réside plutôt dans le matériau originel, qui est à dominance de kaolinite et d'illite là où domine l'arénisation ou de plus en plus chargé en montmorillonite quand la roche-mère devient plus basique et la percolation insuffisante.

La morphologie montre d'ailleurs une gradation dans l'intensité du lessivage depuis les sols ferrugineux tropicaux lessivés jusqu'aux sols halomorphes lessivés, gradation visible aussi bien dans les horizons lessivés que dans les horizons d'accumulation. Ainsi l'horizon A2 de simplement éclairci dans les sols ferrugineux tropicaux s'éclaircirait de plus en plus pour atteindre le stade blanchi dans les sols halomorphes, cet horizon étant le plus souvent masqué par l'activité des vers de terre dans les sols hydromorphes. De même l'horizon d'accumulation, caractérisé par l'allure du profil granulométrique, deviendrait de plus en plus net en passant du type diffus de certains sols ferrugineux tropicaux au type tranché des sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes et des sols hydromorphes lessivés, puis au véritable ventre granulométrique de certains types de sols hydromorphes et halomorphes lessivés. Parallèlement à cette augmentation de l'intensité du lessivage, l'hydromorphie serait de mieux en mieux marquée dans l'horizon B, aussi bien par suite de l'accumulation proprement dite que du changement progressif de matériau et de la

présence de minéraux argileux gonflants. La présence du sodium qu'elle soit due à sa non-élimination après l'hydrolyse de la roche-mère ou à l'accumulation en bas de pente, ne ferait qu'exacerber ce caractère hydromorphe de l'horizon B, en annulant pratiquement sa perméabilité.

Le mécanisme du lessivage serait dû lui-même en partie à l'hydromorphie qui règne dans l'horizon supérieur pendant certaines périodes de l'année et en même temps aux variations brutales des conditions physico-chimiques dans cet horizon, variations liées aussi bien aux caractéristiques du climat tropical qu'à celles des mouvements de l'eau dans le profil depuis la possibilité d'une percolation verticale en grand jusqu'au seul drainage oblique possible. A son stade ultime le lessivage s'accompagnerait d'une possible destruction de minéraux argileux, et ceci en milieu acide conformément aux conclusions de Brabant (1967).

L'observation selon laquelle le pH est minimum dans tous les profils de sols hydromorphes ou halomorphes à la limite A/B est donc particulièrement intéressante, d'autant plus que les mesures sont effectuées en saison sèche et qu'en période de forte activité biologique le pH doit pouvoir baisser davantage. En fait le pH n'est qu'un des aspects des conditions de pédogénèse, et il faudrait faire intervenir et étudier les variations dans l'année des conditions d'oxydo-réduction ainsi que les passages rapides du dessèchement à l'humectation.

Les considérations précédentes, quand elles seront appuyées sur des données nouvelles et des études plus précises de pédogénèse, doivent conduire à proposer des modifications importantes dans la classification des sols tropicaux : le lessivage doit y prendre la première place comme critère de classification et être utilisé au moins au niveau de la sous-classe, mais en précisant bien qu'il s'agit d'un "lessivage tropical" que des caractères originaux permet de distinguer nettement du "lessivage tempéré". Le Nord-Cameroun, dont le climat tropical est particulièrement accusé par le continentalisme, offre toute la gamme de "sols lessivés" pour une telle étude.

BIBLIOGRAPHIE.

- AUBERT, G. - 1965 - La classification pédologique utilisée en France. Pédologie, N° sp. 3, 25 - 56
- BLANK, E. et GIESECKE, F. - 1924 - Z. Pflanzenernähr. u. Düng., 3, 198 - 210.
- BOCQUIER, G. - 1964 - Présence et caractères des solonetz solodisés tropicaux dans le bassin tchadien. 8ème Congrès Int. Sc. du Sol, V, 76, 687 - 695.
- BOCQUIER, G. - 1967 - Biogeocenoses et morphogénèse actuelle de certains pédiments du bassin tchadien. ORSTOM, 14 p. multigr.
- BOCQUIER, G. - 1967 - Introduction à quelques problèmes relatifs au lessivage dans les sols ferrugineux tropicaux. ORSTOM, 9 p. multigr.
- BRABANT, P. - 1967 - Contribution à l'étude des sols à horizons blanchis de la région de Garoua. ORSTOM, Yaoundé, 85 p. multigr.
- C.P.C.S. - 1967 - Classification des sols, 1967. 87 p. multigr.
- D'HOORE, J. - 1964 - La carte des Sols d'Afrique au 1/5.000.000e C.C.T.A., Lagos, 209 p.
- HUMBEL, F.X. - 1965 - Etude de sols halomorphes au Nord-Cameroun. ORSTOM, Yaoundé, 63 p. multigr.
- HUMBEL, F.X. - 1968 - Contribution à l'étude des sols à horizons caillouteux du Nord-Cameroun. ORSTOM, Yaoundé, 55 p. multigr.
- KOCH, P. - 1959 - Notice explicative de la feuille Garoua-Ouest. Dir. Mines, Yaoundé, 48 p.
- LAMOUROUX, M. - 1964 - Carte des sols du Togo au 1/1.000.000e. 8ème Cong. Int. Sc. du Sol, V, 15, 121 - 131.
- MARTIN, D. et SEGALLEN, P. - 1964 - Les sols du Cameroun Oriental. 8ème Cong. Int. Sc. du Sol, V, 16, 133 - 144.

- MARTIN, D., SIEFFERMANN, G. et VALLERIE, M. - 1966 - Les sols rouges du Nord-Cameroun. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 3, 3 - 28.
- MARTIN, D. - 1962 - Reconnaissance pédologiques dans le département de la Benoué. ORSTOM, Yaoundé, 46 p. multigr.
- MAIGNIEN, R. - 1964 - Les sols ferrugineux tropicaux. 8ème Cong. Int. Sc. du Sol, V, 64, 569 - 575.
- NYE, P.H. - 1955 - J. Soil Sc., 6, 1, 72 - 83.
- PEDRO, G. - 1966 - Essai sur la caractérisation géochimique des différents processus zonaux résultant de l'altération des roches superficielles. C.R. Ac. Sc., D., 262, 17. 1.828 - 31.
- SCHWOCERER, P. - 1965 - Notice explicative sur la feuille Garoua-Est. Dir. Mines, Yaoundé, 61 p.
- SEGALEN, P. - 1967 - Les sols et la géomorphologie du Cameroun. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., V, 2; 137 - 187.
- SUSINI, J. - 1964 - Détermination de la capacité totale des argiles par microméthode. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., II, 2, 51 - 56.
- TRAUTH, N., PAQUET, H., LUCAS, J. et MILLOT, G. - 1967 - Les montmorillonites des vertisols lithomorphes sont ferri-fères : conséquences géochimiques et sédimentologiques. C.R. Ac. Sc., D, 264, 12, 1.577 - 1.579.
- U.S.D.A. - 1960 - Soil classification. A comprehensive system. U.S.D.A., Washington, 265 p.
- U.S.D.A. - 1964 et 1967 - Suppléments to soils classification system. (7ème Approximation).